**Практическое занятие № 9**

**ОсновНЫЕ ПОНЯТИЯ термодинамики.**

**пЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ**

**Цель работы**

Знакомство с основными представлениями термодинамики и формиро-вание навыков решения задач по данной теме.

**Основные понятия и формулы**

Внутренняя энергия *U* произвольной массы *m* идеального газа, кроме кинетической энергии поступательного движения молекул, учитывает также энергию их вращательного движения, которая зависит от числа составляющих молекулу атомов (степеней свободы молекул *i*):



где μ – их молярная масса; *i*= 3 для одноатомного газа, *i*= 5 для двухатом-ного газа, *i*= 6 для трех- и многоатомного газов.

Поскольку внутренняя энергия массы конкретного газа является однозначной функцией абсолютной температуры *T*, ее изменение также определяется только разностью температур :



Первое начало термодинамики в дифференциальной и интегральной формах имеет вид:

 ,

где *Q* – сообщенное системе количество теплоты; Δ*U* – изменение внутренней энергии системы; *А* – работа газа по расширению.

Работа при изменении объема газа также может быть представлена
в дифференциальной и интегральной формах:



**Работа и первое начало термодинамики при изопроцессах**

1. Изохорный процесс (*V* = const):

*А* = 0, .

2. Изобарный процесс (*р* = const):

*А* = *р*Δ*V* = *p* (*V*2– *V*1), *Q* = Δ*U* + *А=*.

3. Изотермический процесс (*Т* = const):

Δ*U* = 0, .

4. Адиабатический процесс – это процесс, происходящий при отсутствии теплообмена между системой и окружающей средой (*Q* = 0):

, *Q* = 0.

Работа, совершаемая в адиабатическом процессе,

.

Теплоемкость тела , удельная *c* или молярная *C* теплоемкости определяются как количество теплоты *Q*, необходимое для нагрева всего тела (газа), единицы массы газа (*m* = 1 кг) или одного моля газа (*v* = 1 моль) на один градус:



Между собой данные величины связаны следующими соотноше-ниями:



Уравнение Майера связывает молярные теплоемкости газов при постоянном давлении *Ср* и постоянном объеме *С*ν:



Уравнение адиабатического процесса (уравнение Пуассона):



где γ − показатель адиабаты:



Адиабатический процесс является частным случаем политропного процесса, описываемого уравнением , где *n* − показатель политропы:

.

**Примеры решения типовых задач**

**Задача 9-1.** Газ, занимавший объем *V* = 20 л при нормальных условиях, был изобарно нагрет до *t* = 80 °С. Определите работу расширения газа.

Решение. Работа расширения газа при изобарном процессе:

.

Из уравнения Менделеева – Клапейрона определим число ν молей газа:

,

.

Тогда работа



**Задача 9-2.** Кислород массой *m* = 10 г находится в сосуде под давле-нием *р* = 300 кПа и температуре *T* = 10 °С. После изобарного нагревания газ занял объем *V* = 10 л. Найдите количество теплоты, полученное газом, изменение внутренней энергии газа и работу, совершенную газом при расширении.

Решение. Воспользовавшись уравнением Менделеева – Клапейрона найдем объем газа до нагревания :

,



Работа, совершенная газом при расширении, составит

.

Температуру *T*2 после нагревания определим исходя из соотно-шения

,

откуда

.

Для расчета изменения внутренней энергии Δ*U* используем формулу

.

Количество теплоты *Q* определим по первому началу термодина-мики:

*Q =* Δ*U + А* = 5823 + 2280 = 8103 Дж.

Задача 9-3. Кислород массой *m* = 32 кг находится в закрытом сосуде под давлением *p* = 0,1 МПа при температуре *T* = 290 К. После нагревания давление в сосуде повысилось в 4 раза. Определите: а) объем сосуда;
б) температуру, до которой газ нагрели; в) сообщенное газу количество теплоты.

Решение.Из уравнения Менделеева – Клапейрона найдем объем сосуда:

.

Поскольку процесс изохорический, температура, до которой нагрели газ, будет равна



Расчет количества теплоты, сообщенного газу, произведем по пер-вому началу термодинамики при *i* = 5 (число степеней свободы молекул кислорода) с учетом того, что в изохорическом процессе работа *А*= 0:

.

Задача 9-4. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если в процессе изохорного нагревания кислорода объемом *V*= 20 л его давление изменилось на ∆*р*= 100 кПа.

Решение.В изохорном процессе работа расширения газа равна нулю, поэтому количество теплоты, сообщенное газу при нагревании определяется только изменением его внутренней энергии:

.

**Задача 9-5.**Один литр гелия, находящийся при нормальных усло-виях, изотермически расширяется за счет полученного извне тепла
до объема двух литров. Найдите: а) работу, совершенную газом при расши-рении; б) количество сообщенного газу тепла.

Решение.Работа, совершенная газом при изотермическом расширении:

.

Так как в изотермическом процессе внутренняя энергия газа не изменяется, то

.

**Задача 9-6.** При адиабатическом сжатии одного моля двухатомного газа была совершена работа *А*= 146 Дж. На сколько увеличилась темпера-тура газа при сжатии?

Решение.Адиабатическое сжатие производится без теплообмена с внешней средой, поэтому работа, совершенная над газом:

.

Отсюда увеличение температуры газа при сжатии

 К.

Задача 9-7. Кислород, занимающий при давлении *р*1 = 1 МПа объем *V*1 = 5 л, расширяется в *n*= 3 раза. Определите конечное давление и работу, совершенную газом. Рассмотрите следующие процессы: а) изобарный;
б) изотермический; в) адиабатический.

Решение.В изобарном процессе давление остается неизменным (*р*1 = *р*2 = 1 МПа), а работа расширения находится по формуле:

*A = p*1(*V*2 – *V*1) = 2*p*1*V*1 = 104 Дж,

.

В изотермическом процессе

*p*1*V*1 = *p*2*V*2,

поэтому конечное давление равно

 Па,

а работа, совершенная газом при расширении:

Дж.

В адиабатическом процессе изменения давления и объема подчи-няются уравнению Пуассона:

,

где для двухатомного газа . Поэтому конечное давление равно

 Па.

Работe расширения, совершенную газом в этом процессе, найдем
по формуле

 Дж.

**Вопросы и задания для самостоятельного решения**

9.1. Что такое внутренняя энергия идеального газа и какими свойст-вами она обладает? В результате каких процессов может изменяться внутренняя энергия системы?

9.2. Как находится число степеней свободы молекул газа?

9.3. В чем состоит закон Больцмана о равном распределении энергии по степеням свободы молекул?

9.4. Как рассчитывается работа газа при изменении его объема?

9.5. Как может быть графически найдена работа газа по расши-рению?

9.6. Как записывается первое начало термодинамики применительно к изохорическому и изобарическому процессам?

9.7. Почему нагревание газа при постоянном давлении требует большего количества теплоты, чем его нагревание при постоянном объеме?

9.8. Как из выражения для работы изобарного расширения вытекает физический смысл молярной газовой постоянной *R* ?

9.9. Как находится работа и записывается первое начало термодина-мики применительно к изотермическому процессу?

9.10. Как записывается первое начало термодинамики примени-тельно к адиабатическому процессу? Как меняется температура газа
в результате его изотермического и адиабатического расширения?

9.11. Что такое теплоемкость газа? Почему различают теплоемкость газа при постоянном объеме и при постоянном давлении? Каким соотно-шением они связаны между собой?

9.12. Какой процесс называют адиабатическим, политропическим? Какими уравнениями они описываются? Какое понятие является более общим и почему?

9.13. Как определяется работа при адиабатичесаком процессе?

9.14. Почему адиабата в координатах *p*,*V* идет круче, чем изотерма?

9.15. Как из уравнения политропы можно получить уравнения изопроцессов?

9.16. Масса *m*= 1 кг двухатомного газа находится под давлением *р*= 80 кПа и имеет плотность ρ = 4 кг/м3. Найдите энергию теплового движения *U* молекул газа при этих условиях.

9.17. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях ρ = 1,43 кг/м3. Найдите удельные теплоемкости *ср* и *сV* этого газа.

9.18. Молярная масса некоторого газа μ = 0,03 кг/моль, отношение *ср*/*сV*= 1,4. Найдите удельные теплоемкости *ср* и *сV* этого газа.

9.19. Определите показатель адиабаты γ идеального газа, который при температуре *Т* = 350 К и давлении *р* = 0,4 МПа занимает объем *V* = 300 л и имеет теплоемкость *C*газа = 857 Дж/К при постоянном объеме.

9.20. Определите молярную массу μ газа, если разность его удельных теплоемкостей *сp* − *сV* = 2,08 кДж/(кг⋅К).

9.21. В сосуде объемом *V* = 6 л находится при нормальных условиях двухатомный газ. Определите теплоемкость *С*газа этого газа при постоянном объеме.

9.22. Определите молярные теплоемкости газа, если его удельные теплоемкости *сV* = 10,4 кДж/(кг⋅К) и *сp*= 14,6 кДж/(кг⋅К).

9.23. Найдите удельные *сV* и *cp* и молярные *СV* и *Ср* теплоемкости азота и гелия.

9.24. Трехатомный газ под давлением *р* = 240 кПа и температуре *t*= 20 °С занимает объем *V* = 10 л. Определите теплоемкость *С*газа этого газа при постоянном давлении.

9.25. Одноатомный газ при нормальных условиях занимает объем *V* = 5 л. Вычислите теплоемкость *С*газа этого газа при постоянном объеме.

9.26. Определите молярные теплоемкости *СV* и *Ср* смеси двух газов – одноатомного и двухатомного. Количества газов соответственно равны
ν1 = 0,4 моль и ν2 = 0,2 моль.

9.27. Определите удельные теплоемкости *сV* и *ср* водорода, в котором половина молекул распалась на атомы.

9.28. В сосуде находится смесь двух газов – кислорода массой *m*1 = 6 г и азота массой *m*2 = 3 г. Определите удельные теплоемкости
*сV* и *ср* такой смеси.

9.29. Одноатомный газ, количество вещества которого ν1 = 2 моль смешан с трехатомным газом, количество вещества которого ν2 = 2 моль. Определите молярные теплоемкости *СV* и *Ср* этой смеси.

9.30. Смесь газов состоит из гелия массой *m*1 = 5 г и водорода массой *m*2 = 2 г. Найдите отношение теплоемкостей  этой смеси.

9.31. Двухатомный газ (ν = 2 моль) нагревают при постоянном объеме до температуры *Т*2= 289 К. Определите количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление
в *n*= 3 раза.

9.32. При изобарном нагревании некоторого идеального газа (ν = 0,8 моль) на Δ*Т*= 90 К ему было сообщено количество теплоты *Q* = 2,1 кДж. Определите: а) работу, совершаемую газом; б) изменение внутренней энергии газа; в) величину 

9.33**.** Какую работу совершил воздух массой *m* = 290 г при его изобарном нагревании на Δ*T* = 20 К и какое количество теплоты ему при этом сообщили?

9.34. Кислород массой *m* = 160 г при температуре *T* = 27 °С занимал некоторый объем. При изобарном нагревании этот объем увеличился вдвое. Найдите работу газа при расширении, количество теплоты, которое пошло на нагревание кислорода и изменение внутренней энергии кислорода.

9.35. Одноатомный идеальный газ в количестве *v*= 4 молей погло-щает количество теплоты *Q* = 2 кДж, при этом температура газа повы-шается на Δ*Т*= 20 К. Найдите работу газа.

9.36. В сосуде емкостью *V* = 2 л находится гелий под давлением
 = 1 МПа. Стенки сосуда могут выдержать максимальное давление
*р*2 = 5 МПа. Какое наибольшее количество теплоты можно сообщить газу, чтобы сосуд не взорвался?

9.37. Газ, занимающий объем *V* = 22 л, под давлением *р* = 100 кПа был изобарно нагрет от *t*1 = 20 °С до *t*2 = 100 °С. Определите работу газа.

9.38. Кислород массой *m* = 300 г при температуре *Т* = 300 К охладили изохорно, при этом давление его уменьшилось в 3 раза. Затем газ изобарно нагрели до первоначальной температуры. Какую работу совершил газ?

9.39. На сколько градусов нужно изобарно нагреть *V* = 4 м3 воздуха, находящегося в цилиндре при *t*1= 0 °С, чтобы при поднятии поршня
была совершена работа *А*= 105 Дж? Воздух находится под давлением
*р* = 1,5 ⋅ 105 Па.

9.40. Некоторое количество газа занимало объем *V*= 0,01 м3 и нахо-дилось под давлением *р*1= 105 Па при температуре *Т*1= 300 К. Затем газ был нагрет без изменения объема до температуры *Т*2 = 320 К, а после этого нагрет при постоянном давлении до температуры *Т*3 = 350 К (рис. 9.1). Найдите работу, которую совершил газ, переходя из первоначального состояния в конечное.

9.41. Азот массой *m*= 280 г расширяется в результате изобарного процесса при давлении *р*= 1 МПа. Определите: а) работу расширения;
б) конечный объем газа, если на расширение затрачена теплота *Q*= 5 кДж, а начальная температура азота *Т*1= 290 К.

9.42. Азот массой 2 кг охлаждают при постоянном давлении
от 400 до 300 К. Определите изменение внутренней энергии, внешнюю работу и количество выделяемой теплоты.

9.43. Идеальный одноатомный газ в количестве *v* = 1 моль сначала охладили, а затем нагрели до первоначальной температуры *T*, увеличив объем газа в 3 раза (рис. 9.2). Какое количество теплоты отдал газ
на участке *1*–*2*?

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 9.1. К задаче 9.40 | Рис. 9.2. К задаче 9.43 |

9.44. На рис. 9.3 приведен график зависимости объема одноатомного газа от давления. Внутренняя энергия газа увеличилась на Δ*U* = 100 кДж. Найдите количество теплоты, сообщенное газу.

9.45. Какое количество теплоты подведено к двум молям одноатом-ного идеального газа при осуществлении процесса *1*–*2*–*3* если в состоя-
нии *2* температура его была равна *Т*2 = 400 К (рис. 9.4).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 9.3. К задаче 9.44 | Рис. 9.4. К задаче 9.45 |

9.46. Сколько теплоты выделится, если азот массой *m* = 1 г, взятый при температуре *Т* = 280 К под давлением *р*1 = 0,1 МПа, изотермически сжать до давления *р*2 = 1 МПа?

9.47. Водород массой *m* = 10 г нагрели на Δ*Т* = 200 К, причем газу была передана теплота *Q* = 40 кДж. Найдите изменение Δ*U* внутренней энергии водорода и совершенную им работу *А*.

9.48. При адиабатическом сжатии кислорода массой *m* = 1 кг совер-шена работа *А* = 100 кДж. Какова будет конечная температура *Т*2 газа, если до сжатия кислород находился при температуре *Т*1 = 300 К?

9.49. При адиабатическом расширении кислорода, имевшего темпе-ратуру *Т* = 320 К, внутренняя энергия уменьшилась на Δ*U* = 8,4 кДж. Найдите массу кислорода, если его объем в процессе увеличился в 10 раз.

9.50. При адиабатическом сжатии газа его объем *V* уменьшился
в *n* = 10 раз, а давление *р* увеличилось в *k*= 21,4 раза. Определите показатель адиабаты γ этого газа.

9.51. Азот массой *m*= 2 г, имевший температуру *Т*1= 300 К, был адиабатически сжат так, что объем уменьшился в *n* = 10 раз. Определите конечную температуру *Т*2 газа и работу сжатия *А*.

9.52. Азот массой *m*= 5 г, имевший температуру *Т*1= 300 К, был адиабатически сжат так, что объем уменьшился в *n* = 4 раза. Определите изменение внутренней энергии в этом процессе.

9.53. Водород при нормальных условиях имел объем *V*1= 100 м3.
На сколько изменилась внутренняя энергия *U* газа при адиабатическом изменении его объема до *V*2= 150 м3?

9.54. Кислород объемом *V* = 1 л находится под давлением *р* = 1 МПа. Определите, какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его объем вдвое в результате изобарного процесса?

9.55. Кислород объемом *V* = 1 л находится под давлением *р* = 1 МПа. Определите количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его объем втрое в результате изотермического процесса.

9. 56. Кислород объемом *V* = 1 л находится под давлением *р* = 1 МПа. Определите количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его объем втрое в результате адиабатического процесса.

9.57. Некоторый газ массой *m*= 5 г расширяется изотермически от объема *V*1 до объема *V*2= 2*V*1. Работа расширения *А*= 1 кДж. Опреде-лите среднюю квадратичную скорость молекул газа.

9.58. Азот массой *m*= 14 г сжимают изотермически при температуре *Т*= 300 К от давления *р*1= 100 кПа до давления *р*2= 500 кПа. Определите изменение внутренней энергии газа, работу сжатия и количество выделив-шейся теплоты.

9.59. Давление азота, находящегося в сосуде объемом *V*= 3⋅10−3 м3, после нагревания возросло на Δ*р*= 2,2⋅105Па. Определите количество теплоты, сообщенное газу.

9.60. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет *А* = 2 кДж. Определите количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекал изотермически.

9.61. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет *А* = 2 кДж. Определите количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекал изобарно.

9.62. При адиабатическом сжатии воздуха в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания давление изменяется от *р*1= 0,1 МПа до *р*2= 3,5 МПа. Начальная температура воздуха *t*1= 40 °С. Найдите температуру *t*2 воздуха в конце сжатия.

9.63. Двухатомный газ, находящийся при давлении *р*1= 2 МПа и температуре *t*1= 27 °С, сжимается адиабатически от объема *V*1 до объема *V*2= 0,5*V*1. Найдите температуру *t*2 и давление *р*2 газа после сжатия.

9.64. Двухатомный газ, находящийся при давлении *р*1= 2 МПа и температуре *t*1= 27 °С, сжимается адиабатически от объема *V*1 до объема *V*2= 0,5*V*1. Найдите изменение внутренней энергии в результате сжатия.

9.65. Двухатомный газ занимает объем *V*1= 0,5 л при давлении *р*1= 50 кПа. Газ сжимается адиабатически до некоторого объема *V*2 и давления *р*2 и затем при постоянном объеме *V*2 охлаждается до первоначальной температуры, причем его давление становится равным *р*0= 100 кПа. Найдите объем *V*2 и давление *р*2.

9.66. На сколько градусов нужно изобарно нагреть *V*= 4 м3 воздуха, находящегося в цилиндре при *t*= 0 °С, чтобы при поднятии поршня была совершена работа *А*= 105 Дж? Воздух находится под давлением *р*= 1,5⋅105Па.

9.67. Газ расширяется адиабатически так, что его давление падает от *р*1= 200 кПа до *р*2= 100 кПа. Затем он нагревается при постоянном объеме до первоначальной температуры, причем его давление становится равным *р*= 122 кПа. Найдите отношение *Ср*/*СV* для этого газа.

9.68. Кислород массой *m*= 10 г кислорода, находящийся при нор-мальных условиях, сжимается до объема *V*2= 1,4 л. Найдите давление *р*2
и температуру *t*2 кислорода после сжатия, если кислород сжимается: а) изотермически; б) адиабатически. Найдите работу *А* сжатия в каждом
из этих случаев.

9.69. Азот массой *m*= 28 г, находящийся при температуре *t*1= 40 °С и давлении *р*1= 100 кПа, сжимается до объема *V*2= 13 л. Найдите темпера-туру *t*2 и давление *р*2 азота после сжатия, если азот сжимается изотерми-чески. Найдите работу *А* сжатия, изменение внутренней энергии газа
и подведенное к газу количество теплоты.

9.70. Азот массой *m*= 28 г, находящийся при температуре *t*1= 40 °С и давлении *р*1= 100 кПа, сжимается до объема *V*2= 13 л. Найдите температуру *t*2 и давление *р*2 азота после сжатия, если азот сжимается адиабатически. Найдите работу *А* сжатия и изменение внутренней
энергии газа.