

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н. И. Лобачевского»

СБОРНИК ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ

Термодинамика и молекулярная физика

Часть III. Фазовые переходы, поверхностное натяжение

Учебно-методическое пособие для студентов
факультета «Высшая школа общей и прикладной физики»

Рекомендовано методической комиссией факультета «Высшая школа общей
и прикладной физики» для студентов ННГУ, обучающихся по направлению
подготовки 03.03.02 «Физика» (бакалавриат)

Нижегород 2019

УДК 536
ББК 22.36
С23

С23 Сборник индивидуальных заданий по физике. Термодинамика и молекулярная физика. Часть III. Фазовые переходы, поверхностное натяжение: Учебно-методическое пособие для студентов факультета «Высшая школа общей и прикладной физики». Составители: С. А. Корягин, А. В. Кочетов, В. А. Миронов. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского, 2019. — 24 с.

Рецензент: д. ф.-м. н., профессор В. Б. Гильденбург.

Сборник содержит варианты индивидуальных заданий, предназначенных для выполнения в виде домашних контрольных работ студентами 1 курса бакалавриата факультета ВШОПФ ННГУ при изучении раздела «Фазовые переходы, поверхностное натяжение» курса «Термодинамика и молекулярная физика» во II учебном семестре.

Ответственный за выпуск: председатель методической комиссии факультета «Высшая школа общей и прикладной физики» ННГУ, д. ф.-м. н., профессор А. М. Фейгин.

УДК 536
ББК 22.36

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 2019

Правила оформления домашней работы

1. Работа должна быть написана в отдельной тетради и сдана в срок, указанный преподавателем.

2. В начале работы укажите номер варианта, а в начале решения каждой задачи — номер задачи (последовательность решения задач может быть произвольной).

3. Начинайте оформление задачи с краткого условия (дано: X ; найти: Y), приведите рисунок и т. д.

4. Решение должно обязательно содержать логические пояснения, ссылки на физические законы и заканчиваться ответом. **Последовательность формул без пояснений не принимается как решение задачи.** Одной формуле в среднем должно соответствовать не менее одного предложения.

5. Нумеруйте формулы с помощью цифр в скобках, например,

$$a = b + c, \quad (3)$$

и далее ссылайтесь на математические выражения по их номеру.

6. Давайте определение ко всем вводимым при решении буквенным обозначениям физических величин (приведите пояснение, что они обозначают). Без таких пояснений понимание и проверка решения становятся затруднительными.

7. Задачу решайте в алгебраической форме (в буквах) до конечного ответа и только в итоговом выражении подставляйте числа. Такой подход сокращает объём численных операций (и вероятность ошибки) и исключает появление специфических численных коэффициентов, отражающих исключительно частные значения параметров в условии задачи.

8. Алгебраический (буквенный) ответ проверьте на размерность, а также рассмотрите варианты предельных значений входящих в него величин (что исключит «глупые» ошибки). Численный ответ должен соответствовать окружающей действительности (не выходить за «разумные» значения).

9. В случае отсутствия ответа изложите трудности, возникшие при решении задачи.

10. Недостающие исходные данные (мировые константы, параметры веществ) возьмите из справочника (в интернете).

11. Напоминаем, что за консультацией следует обращаться, в первую очередь, к тьюторам и преподавателям практики.

Вариант 1

См. правила оформления работы на с. 3.

1. В дне сосуда образовалась трещина шириной $a = 0,02$ мм. До какой максимальной высоты h можно налить ртуть в сосуд, чтобы она ещё не вытекала через трещину? Плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³, поверхностное натяжение $\sigma = 487$ дин/см при 15 °С.

2. Оцените максимальный объём воды, который можно налить в решето с парафиновым дном диаметра $D = 20$ см. Дно изготовлено из металлического листа с круглыми отверстиями диаметра $d = 1$ мм. Поверхностное натяжение воды $\sigma = 70$ дин/см.

3. Определите изменение температуры плёнки при её адиабатическом растяжении.

4. Выразите производную dp/dT давления p насыщенного пара по температуре T через удельную теплоту парообразования q и удельные объёмы пара и жидкости $v_{\text{п}}$ и $v_{\text{ж}}$. Для решения задачи рассмотрите цикл Карно для системы, состоящей из жидкости и насыщенного пара, и примените к нему теорему Карно.

5. Найдите изменение температуры ΔT плавления льда при повышении давления на величину $\Delta p = 1$ атм. При 0 °С удельный объём воды $v_{\text{ж}} = 1$ см³/г, удельный объём льда $v_{\text{л}} = 1,091$ см³/г, удельная теплота плавления льда $q = 80$ кал/г. По найденному значению ΔT рассчитайте приблизительно температуру тройной точки воды.

6. Ромбическая сера превращается в моноклинную при температуре $t = 95,5$ °С. При атмосферном давлении удельная теплота такого превращения $q = 2,2$ кал/г. Скачок удельного объёма серы при фазовом превращении $\Delta v = 0,014$ см³/г. Насколько смещается по температуре ΔT точка фазового перехода при увеличении давления на величину $\Delta p = 1$ атм?

Вариант 2

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Бесконечно длинную прямоугольную пластинку положили на поверхность смачивающей жидкости. Пластинку слегка приподнимают, и некоторое количество жидкости увлекается за ней вверх (рис. 1). Найдите уравнение боковой поверхности жидкости, которая установилась под влиянием капиллярных сил и силы тяжести.

2. На какую максимальную высоту h можно поднять пластинку над уровнем жидкости в предыдущей задаче? Определите толщину D приподнятого столба жидкости в наиболее узком месте MN при этой высоте поднятия

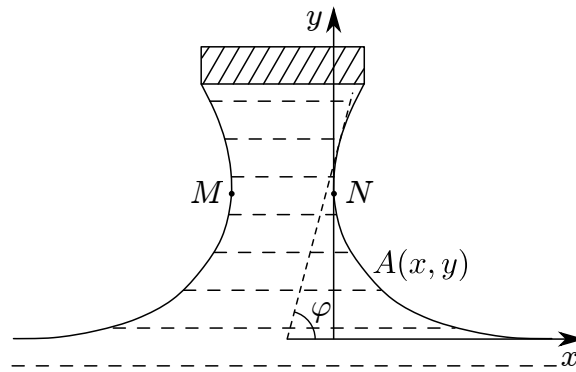


Рис. 1

(рис. 1). Найдите силу F , которую необходимо приложить к единице длины пластинки, чтобы оторвать последнюю от жидкости. Вес единицы длины пластинки равен q , её ширина — a .

3. Найдите высоту h поднятия жидкости у бесконечной вертикальной стенки, смачиваемой жидкостью. Краевой угол равен Θ . (Воспользуйтесь решением задачи 1.)

4. Определите удельную теплоёмкость s насыщенного пара, расширяющегося (или сжимающегося) таким образом, что во время процесса он всё время остаётся насыщенным. Пренебрегите удельным объёмом жидкости по сравнению с удельным объёмом её насыщенного пара. Считайте, что пар подчиняется уравнению состояния Менделеева — Клапейрона. Проведите расчёт для воды при температуре $T = 373$ К, считая, что к водяному пару применима классическая теория теплоёмкости. Удельная теплота парообразования воды $q = 539$ кал/г.

5. Решите предыдущую задачу, зная удельную теплоту испарения q и её производную dq/dT по температуре T , но не предполагая, что пар подчиняется уравнению состояния Менделеева — Клапейрона. Для воды при $t = 100$ °С производная $dq/dT = -0,64$ кал/(г·К), удельная теплоёмкость жидкой воды при постоянном давлении $c_p^{(ж)} = 1,01$ кал/(г·К).

6. Определите приближённо давление и температуру (по шкале Цельсия) в тройной точке воды, пользуясь следующими данными. Давление насыщенного пара над жидкостью $p_1 = 4,579$ мм рт. ст. при температуре $t_1 = 0$ °С, $p_2 = 4,926$ мм рт. ст. при $t_2 = 1$ °С. При 0 °С и нормальном давлении $p_0 = 760$ мм рт. ст. удельный объём льда $v_{л} = 1,091$ см³/г, а удельный объём воды $v_{в} = 1$ см³/г. Удельная теплота плавления льда $q = 80$ кал/г.

Вариант 3

См. правила оформления работы на с. 3.

1. На какую величину ΔT температура воздуха внутри мыльного пузыря должна превышать температуру T окружающего воздуха, чтобы пузырь стал подниматься? Радиус пузыря равен r , поверхностное натяжение мыльной плёнки σ . Массой плёнки можно пренебречь. Учтите, что давление воздуха внутри пузыря мало отличается от атмосферного давления p_0 .

2. В цилиндре с подвижным поршнем заключён мыльный пузырь радиуса r , наполненный воздухом. Вначале давление p_0 воздуха вне пузыря равно атмосферному. Медленным вдвиганием поршня мыльный пузырь сжимают так, что его радиус уменьшается вдвое. Определите давление p наружного воздуха в цилиндре в этот момент.

3. Капля несжимаемой жидкости совершает пульсационные колебания, становясь последовательно вытянутой, сферической, сплюснутой, сферической, снова вытянутой и т. д. Как зависит период T этих пульсаций от плотности ρ и радиуса r капли?

4. На дне сосуда, откачиваемого до высокого вакуума, заморожен плоскопараллельный слой льда толщиной $l = 7$ мм, нижняя поверхность которого поддерживается при постоянной температуре t_0 . Определите эту температуру, если известно, что при откачке сосуда на верхней поверхности слоя льда установилась температура $t_1 = -50$ °С. Теплопроводность льда $\chi = 5,3 \cdot 10^{-3}$ кал/(с · см · °С). Удельная теплота сублимации льда $q = 680$ кал/г. В отсутствие откачки давление насыщенного пара надо льдом при температуре $t_1 = -50$ °С составляет величину $p = 0,03$ мм рт. ст..

5. Найдите коэффициент объёмного расширения α , изотермическую сжимаемость γ_T и теплоёмкость c_p при постоянном давлении неоднородной равновесной системы, состоящей из жидкости и её насыщенного пара.

6. Найдите удельную теплоту испарения бензола $q_{\text{исп}}$ вблизи его тройной точки. В тройной точке температура $T = 279$ К, равновесное давление пара $p = 36$ мм рт. ст., удельная теплота плавления $q_{\text{пл}} = 30,2$ кал/г, а для кривой возгонки производная $dp/dT = 2,43$ мм рт. ст./К. Считайте бензольный пар идеальным газом.

Вариант 4

См. правила оформления работы на с. 3.

1. На сколько изменится молярная теплоёмкость c идеального газа по сравнению с аналогичной величиной при постоянном давлении c_p , если газ

нагревать внутри мыльного пузыря радиуса $r = 1$ см. Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 40$ дин/см. Зависимостью величины σ от температуры пренебречь. Давление вне пузыря $p_0 = 1$ атм.

2. Мыльный пузырь выдувают через цилиндрическую трубку с внутренним радиусом $r = 1$ мм и длиной $l = 10$ см. Когда радиус пузыря достигает значения $R_0 = 10$ см, перестают дуть, и воздух из пузыря начинает выходить через трубку. Через какое время, начиная с этого момента, пузырь исчезнет? Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 40$ дин/см, вязкость воздуха $\eta = 1,8$ дин · с/см². Изменением плотности воздуха за время процесса пренебречь.

3. Капля несжимаемой жидкости совершает пульсационные колебания, становясь последовательно вытянутой, сферической, сплюснутой, сферической, снова вытянутой и т. д. Как зависит период T этих пульсаций от плотности ρ и радиуса r капли?

4. Выразите производную dp/dT давления p насыщенного пара по температуре T через удельную теплоту парообразования q и удельные объёмы пара и жидкости $v_{\text{п}}$ и $v_{\text{ж}}$. Для решения задачи рассмотрите цикл Карно для системы, состоящей из жидкости и насыщенного пара, и примените к нему теорему Карно.

5. Найдите изменение температуры ΔT плавления льда при повышении давления на величину $\Delta p = 1$ атм. При 0 °С удельный объём воды $v_{\text{ж}} = 1$ см³/г, удельный объём льда $v_{\text{л}} = 1,091$ см³/г, удельная теплота плавления льда $q = 80$ кал/г. По найденному значению ΔT рассчитайте приближённо температуру тройной точки воды.

6. Уксусная кислота при атмосферном давлении плавится при температуре $t = 16,6$ °С. Разность удельных объёмов жидкой и твёрдой фаз уксусной кислоты $\Delta v = 0,16$ см³/г. Точка плавления уксусной кислоты смещается по температуре на величину $\Delta T = 1$ К при изменении давления на величину $\Delta p = 41$ атм. Найдите удельную теплоту плавления q уксусной кислоты.

Вариант 5

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Насколько изменится разность $h_1 - h_2$ уровней воды в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами $d_1 = 0,1$ мм и $d_2 = 0,3$ мм при нагревании от 20 °С до 70 °С, если для этих температур поверхностное натяжение воды равно соответственно 73 и 64 дин/см?

2. Вертикально расположенный стеклянный капилляр длины l и радиуса r запаян с верхнего конца. На какую высоту h поднимется вода в капилляре,

если его нижний конец привести в соприкосновение с поверхностью воды?

3. В сосуде с теплоизолирующими стенками находится мыльный пузырь радиуса $r = 5$ см. Общее количество воздуха в сосуде и пузыре $\nu = 0,1$ моль, температура $T = 290$ К (предполагается, что она одинакова внутри и вне пузыря). При этой температуре поверхностное натяжение мыльной воды $\sigma = 40$ дин/см, производная $d\sigma/dT = -0,15$ дин/(см · К). Как изменится температура воздуха в сосуде, если пузырь лопнет? Теплоёмкостью образовавшихся капелек пренебречь.

4. Определите приближённо давление и температуру (по шкале Цельсия) в тройной точке воды, пользуясь следующими данными. Давление насыщенного пара над жидкостью $p_1 = 4,579$ мм рт. ст. при температуре $t_1 = 0$ °С, $p_2 = 4,926$ мм рт. ст. при $t_2 = 1$ °С. При 0 °С и нормальном давлении $p_0 = 760$ мм рт. ст. удельный объём льда $v_{\text{л}} = 1,091$ см³/г, а удельный объём воды $v_{\text{в}} = 1$ см³/г. Удельная теплота плавления льда $q = 80$ кал/г.

5. Температура воды в тройной точке $t = 0,01$ °С, удельная теплота плавления льда при этой температуре $q_{\text{пл}} = 80$ кал/г. Удельный объём водяного пара в тройной точке $v_{\text{п}} = 206\,000$ см³/г. По сравнению с ним можно пренебречь удельными объёмами льда и воды $v_{\text{л}}$ и $v_{\text{в}}$. Что больше при температуре 0 °С: давление насыщенного пара над водой $p_{\text{в}}$ или над льдом $p_{\text{л}}$? Чему равна разность $p_{\text{в}} - p_{\text{л}}$?

6. Найдите время испарения $\tau_{\text{исп}}$ сферической капли жидкости радиуса a в атмосфере, насыщенной парами этой жидкости, учитывая зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности. Поверхностное натяжение жидкости (воды) $\sigma = 73$ дин/см, температура $t = 20$ °С. Рассмотреть два случая: 1) $a = 100$ мкм, 2) $a = 1$ мкм.

Вариант 6

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Чтобы стряхнуть ртуть в медицинском термометре, требуется ускорение $a \sim 10g$, где g — ускорение свободного падения. Оцените диаметр перетяжки в капилляре термометра. Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 490$ дин/см, длина столбика ртути выше перетяжки $h \sim 5$ см, плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³.

2. На дне пруда глубиной $h = 2$ м выделяются пузырьки газа диаметром $d_1 \approx 0,05$ мм. Чему будет равен диаметр d_2 этих пузырьков, когда они поднимутся к поверхности воды? Поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см.

3. В сосуде с теплоизолирующими стенками находится мыльный пузырь радиуса $r = 5$ см. Общее количество воздуха в сосуде и пузыре $\nu = 0,1$ моль,

температура $T = 290$ К (предполагается, что она одинакова внутри и вне пузыря). При этой температуре поверхностное натяжение мыльной воды $\sigma = 40$ дин/см, производная $d\sigma/dT = -0,15$ дин/(см · К). Как изменится температура воздуха в сосуде, если пузырь лопнет? Теплоёмкостью образовавшихся капелек пренебречь.

4. Найдите стационарный поток пара со сферической поверхности капли радиуса a в процессе её испарения (или конденсации пара на капле). Коэффициент диффузии пара в воздухе равен D , плотность пара на большом расстоянии от капли ρ_∞ , плотность насыщенного пара ρ_n . Найдите также плотность пара ρ в зависимости от расстояния r от центра капли. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости не учитывать.

5. Найдите время испарения $\tau_{\text{исп}}$ водяной капли с начальным радиусом a в воздухе с относительной влажностью f и температурой $t = 20$ °С. Рассмотрите два случая: 1) $f = 40$ %, $a = 1$ мм; 2) $f = 99$ %, $a = 1$ мкм. При температуре $t = 20$ °С давление насыщенного пара $p_n = 17,5$ мм рт. ст., коэффициент диффузии пара в воздухе $D = 0,22$ см²/с.

Указание. Считайте процесс испарения квазистационарным, что допустимо, если плотность пара ρ_n гораздо меньше плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$.

6. В цилиндре под поршнем помещена вода, над которой находится смесь воздуха и насыщенных водяных паров. Начальное давление на поршень равно атмосферному (1 атм). Затем давление на поршень увеличивают в два раза. На сколько процентов изменится давление насыщенного водяного пара в цилиндре, если температура ($T = 300$ К) сохраняется неизменной?

Вариант 7

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Чему равно капиллярное давление p в капельке ртути с диаметром $d = 1$ мкм при температуре 15 °С, если поверхностное натяжение ртути при этой температуре $\sigma = 487$ дин/см?

2. Чему равно добавочное давление p внутри мыльного пузыря с диаметром $d = 0,8$ см, если поверхностное натяжение мыльной воды $\sigma = 40$ дин/см?

3. Мыльная плёнка имеет толщину $h = 1$ мкм и температуру $T = 300$ К. Вычислите понижение температуры плёнки, если её растянуть адиабатически настолько, что площадь плёнки удвоится. Поверхностное натяжение мыльного раствора убывает на 0,15 дин/см при повышении температуры на 1 К.

4. Найдите давление насыщенного водяного пара при температуре 101 °С. Считайте пар идеальным газом.

5. В закрытом сосуде с объёмом $V_0 = 5$ л находится 1 кг воды при тем-

пературе $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Пространство над водой занято насыщенным водяным паром (воздух выкачан). Найдите увеличение массы насыщенного пара Δm при повышении температуры системы на величину $\Delta T = 1 \text{ К}$. Удельная теплота парообразования $q = 539 \text{ кал/г}$.

Указание. Считайте пар идеальным газом. Пренебрегите удельным объёмом воды по сравнению с удельным объёмом пара.

6. При $0 \text{ }^\circ\text{C}$ давление насыщенного водяного пара над льдом $p_1 = 4,58 \text{ мм рт. ст.}$, удельная теплота плавления льда $q_{\text{пл}} = 80 \text{ кал/г}$, теплота испарения воды $q_{\text{исп}} = 596 \text{ кал/г}$. Найдите давление насыщенного водяного пара над льдом при температуре $t = -1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вариант 8

См. правила оформления работы на с. 3.

1. С какой силой F притягиваются две вертикальные и параллельные стеклянные пластинки, частично погружённые в воду так, что расстояние d между ними равно $0,1 \text{ мм}$? Ширина пластинок $l = 15 \text{ см}$, поверхностное натяжение воды $\sigma = 73 \text{ дин/см}$, угол смачивания $\Theta = 0^\circ$. Высота пластинок такова, что вода не доходит до их верхнего края.

2. Две вертикальные параллельные пластинки частично погружены в жидкость. Покажите, что между ними будет наблюдаться притяжение, если обе пластинки либо смачиваются, либо не смачиваются жидкостью, и отталкивание, если одна пластинка смачивается жидкостью, а другая нет.

3. Найдите выражение для внутренней энергии U плёнки.

4. Какую работу совершает машина Карно за один цикл 1234561 , если рабочим телом является один моль воды, испытывающий во время работы системы фазовые превращения в пар и обратно (рис. 2)? Изотермам 1234 и 56 соответствуют температуры $T_H = 500 \text{ К}$ и $T_x = 373 \text{ К}$. Нижняя изотерма

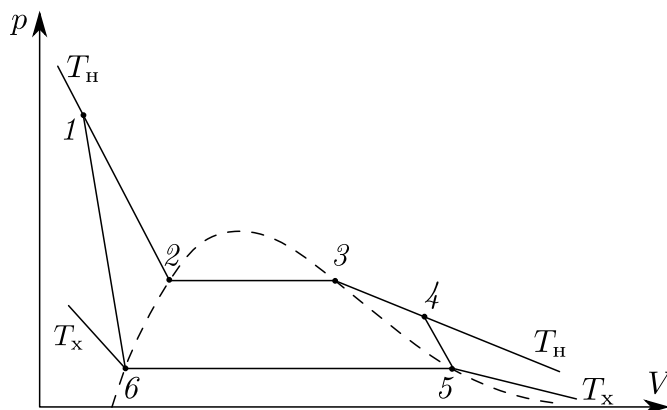


Рис. 2

($T_x = 373 \text{ K}$) целиком лежит в двухфазной области вещества, так что в точке 5 имеется только пар, а в 6 — только жидкость. Кривые 16 и 45 — адиабаты. Удельная теплота парообразования воды $q = 2,25 \text{ кДж/г}$ при температуре $T_x = 373 \text{ K}$.

5. На дне сосуда, откачиваемого до высокого вакуума, заморожен плоско-параллельный слой льда толщиной $l = 7 \text{ мм}$, нижняя поверхность которого поддерживается при постоянной температуре t_0 . Определите эту температуру, если известно, что при откачке сосуда на верхней поверхности слоя льда установилась температура $t_1 = -50 \text{ }^\circ\text{C}$. Теплопроводность льда $\chi = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ кал/(с} \cdot \text{см} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$. Удельная теплота сублимации льда $q = 680 \text{ кал/г}$. В отсутствие откачки давление насыщенного пара надо льдом при температуре $t_1 = -50 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет величину $p = 0,03 \text{ мм рт. ст.}$.

6. Найдите коэффициент объёмного расширения α , изотермическую сжимаемость γ_T и теплоёмкость c_p при постоянном давлении неоднородной равновесной системы, состоящей из жидкости и её насыщенного пара.

Вариант 9

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Насколько изменится разность $h_1 - h_2$ уровней воды в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами $d_1 = 0,1 \text{ мм}$ и $d_2 = 0,3 \text{ мм}$ при нагревании от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $70 \text{ }^\circ\text{C}$, если для этих температур поверхностное натяжение воды равно соответственно 73 и 64 дин/см ?

2. Вертикально расположенный стеклянный капилляр длины l и радиуса r запаян с верхнего конца. На какую высоту h поднимется вода в капилляре, если его нижний конец привести в соприкосновение с поверхностью воды?

3. На какую высоту h поднялась вода между двумя вертикальными стеклянными пластинками, частично погружёнными в эту жидкость, если расстояние между ними $d = 0,5 \text{ мм}$? Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 73 \text{ дин/см}$. Краевой угол Θ в этом случае можно считать равным 0° .

4. В закрытом сосуде при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ находится один моль воды (18 г). Какое количество тепла необходимо подвести, чтобы нагреть систему до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и превратить всю воду в насыщенный пар. Удельная теплота испарения воды при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и постоянном давлении составляет 539 кал/г . Давлением насыщенного пара при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и теплоёмкостью стенок сосуда пренебречь. Пренебречь также объёмом воды по сравнению с объёмом насыщенного пара.

5. Какую работу совершает машина Карно за один цикл 1234561 , если рабочим телом является один моль воды, испытывающий во время работы системы фазовые превращения в пар и обратно (рис. 3)? Изотермам 1234 и 56 соответствуют температуры $T_H = 500 \text{ K}$ и $T_x = 373 \text{ K}$. Нижняя изотерма

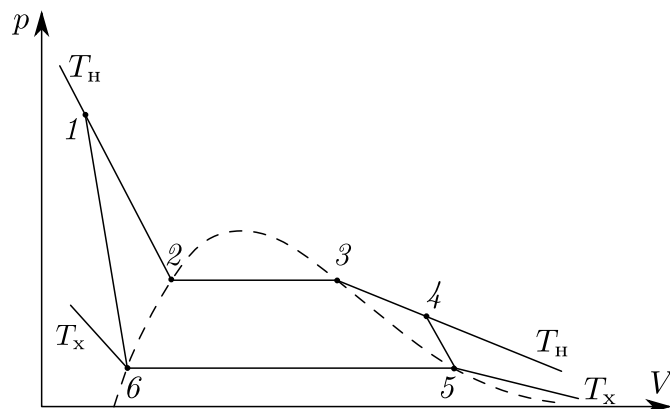


Рис. 3

($T_x = 373 \text{ K}$) целиком лежит в двухфазной области вещества, так что в точке 5 имеется только пар, а в 6 — только жидкость. Кривые 16 и 45 — адиабаты. Удельная теплота парообразования воды $q = 2,25 \text{ кДж/г}$ при температуре $T_x = 373 \text{ K}$.

6. Кусок льда помещён в адиабатическую оболочку при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении. Как изменится температура льда, если его адиабатически сжать до давления $p = 100 \text{ атм}$? Какая доля льда $\Delta m/m$ при этом расплавится? Удельный объём воды $v_{\text{в}} = 1 \text{ см}^3/\text{г}$, льда — $v_{\text{л}} = 1,09 \text{ см}^3/\text{г}$. Удельные теплоёмкости воды $c_{\text{в}}$ и льда $c_{\text{л}}$ связаны соотношением $c_{\text{л}} \approx 0,6c_{\text{в}}$.

Вариант 10

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Внутри мыльного пузыря радиуса r_0 находится воздух (идеальный газ) при температуре T_0 и давлении p_0 . Поверхностное натяжение мыльного раствора при этой температуре равно σ_0 . Удельная теплота изотермического образования единицы поверхности мыльной плёнки при той же температуре равна q_0 . Найдите производную dr/dT радиуса r пузыря по температуре T для $T = T_0$. Наружное давление считайте постоянным.

2. Найдите поверхностное натяжение σ жидкости, если в капилляре с диаметром $d = 1 \text{ мм}$ она поднимается на высоту $h = 32,6 \text{ мм}$. Плотность жидкости $\rho = 1 \text{ г/см}^3$. Краевой угол мениска равен нулю.

3. Какова разность уровней жидкости в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами d_1 и d_2 ? Поверхностное натяжение жидкости равно σ . Краевые углы менисков нулевые. Плотность жидкости равна ρ .

4. В закрытом сосуде с объёмом $V_0 = 5 \text{ л}$ находится 1 кг воды при температуре $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Пространство над водой занято насыщенным водяным паром (воздух выкачан). Найдите увеличение массы насыщенного пара Δm при повышении температуры системы на величину $\Delta T = 1 \text{ K}$. Удельная теп-

лота парообразования $q = 539$ кал/г.

Указание. Считайте пар идеальным газом. Пренебрегите удельным объёмом воды по сравнению с удельным объёмом пара.

5. При 0°C давление насыщенного водяного пара надо льдом $p_1 = 4,58$ мм рт. ст., удельная теплота плавления льда $q_{\text{пл}} = 80$ кал/г, теплота испарения воды $q_{\text{исп}} = 596$ кал/г. Найдите давление насыщенного водяного пара надо льдом при температуре $t = -1^\circ\text{C}$.

6. Из тонкостенного металлического шара радиуса $r = 10$ см выкачали воздух и поместили воду. Давление воздуха вне шара равно атмосферному. До какой максимальной температуры можно нагреть воду, чтобы ёмкость не разорвалась. Стенки шара выдерживают предельное натяжение (на единицу длины) $\sigma = 88$ Н/см. Количество воды таково, что при максимальной температуре ещё не вся вода испарится, однако объём воды мал по сравнению с объёмом сосуда.

Вариант 11

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Две вертикальные стеклянные пластинки погружены частично в жидкость и образуют между собой очень малый двугранный угол α . Найдите высоту поднятия жидкости h как функцию расстояния x от ребра двугранного угла.

2. Капля воды с массой $m = 0,1$ г введена между двумя плоскими и параллельными между собой стеклянными пластинками, полностью смачиваемыми водой (краевой угол $\Theta = 0^\circ$). Как велика сила F притяжения между пластинками, если расстояние между ними $d = 1$ мкм? При 18°C поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см.

3. Грамм ртути помещён между двумя плоскими стеклянными пластинками, расположенными горизонтально. С какой силой F следует прижать верхнюю пластинку, чтобы ртуть приняла форму лепёшки с радиусом $R = 5$ см при однородной толщине? При 15°C поверхностное натяжение ртути $\sigma = 487$ дин/см, краевой угол между ртутью и стеклом $\Theta = 140^\circ$.

4. Ромбическая сера превращается в моноклинную при температуре $t = 95,5^\circ\text{C}$. При атмосферном давлении удельная теплота такого превращения $q = 2,2$ кал/г. Скачок удельного объёма серы при фазовом превращении $\Delta v = 0,014$ см³/г. Насколько смещается по температуре ΔT точка фазового перехода при увеличении давления на величину $\Delta p = 1$ атм?

5. Найдите давление насыщенного водяного пара при температуре 101°C .

Считайте пар идеальным газом.

6. В закрытом сосуде при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ находится один моль воды (18 г). Какое количество тепла необходимо подвести, чтобы нагреть систему до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и превратить всю воду в насыщенный пар. Удельная теплота испарения воды при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и постоянном давлении составляет 539 кал/г. Давлением насыщенного пара при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и теплоёмкостью стенок сосуда пренебречь. Пренебречь также объёмом воды по сравнению с объёмом насыщенного пара.

Вариант 12

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Мыльный пузырь выдувают через цилиндрическую трубку с внутренним радиусом $r = 1$ мм и длиной $l = 10$ см. Когда радиус пузыря достигает значения $R_0 = 10$ см, перестают дуть, и воздух из пузыря начинает выходить через трубку. Через какое время, начиная с этого момента, пузырь исчезнет? Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 40$ дин/см, вязкость воздуха $\eta = 1,8$ дин \cdot с/см². Изменением плотности воздуха за время процесса пренебречь.

2. В стенке шарового мыльного пузыря сделано круглое отверстие с радиусом $a = 1$ мм (такое отверстие можно получить, если поместить на стенку пузыря петельку из нити и затем проткнуть мыльную плёнку внутри петельки). Найдите время, в течение которого весь воздух выйдет из пузыря, если начальный радиус последнего $r_0 = 10$ см. Температура воздуха внутри и вне пузыря $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поверхностное натяжение мыльного раствора при этой температуре $\sigma = 40$ дин/см. Атмосферное давление $p = 760$ мм рт. ст. Среднюю относительную молекулярную массу воздуха μ примите равной 29. При истечении через отверстие воздух рассматривайте как идеальную несжимаемую жидкость.

3. Капля воды равномерно падает в воздухе. На сколько отличается радиус кривизны R_1 её поверхности в нижней точке от радиуса кривизны R_2 в верхней точке, если расстояние между этими точками $d = 2$ мм? Поверхностное натяжение воды $\sigma = 70$ дин/см.

4. Как показал Д. И. Менделеев, поверхностное натяжение жидкости при критической температуре равно нулю. Как можно доказать это?

5. Найдите зависимость давления насыщенного пара от температуры в следующих упрощающих предположениях: удельная теплота парообразования q не зависит от температуры; удельный объём жидкости пренебрежимо мал по сравнению с удельным объёмом пара; пар подчиняется уравнению состояния Менделеева — Клапейрона. (Эти упрощения допустимы вдали от

критической температуры, если интервал изменения температуры не слишком широк.)

6. Найдите повышение температуры кипения воды при увеличении давления на одну избыточную атмосферу (относительно точки кипения воды в нормальных условиях). Удельная теплота испарения воды $q = 539$ кал/г.

Вариант 13

См. правила оформления работы на с. 3.

1. На какую величину ΔT температура воздуха внутри мыльного пузыря должна превышать температуру T окружающего воздуха, чтобы пузырь стал подниматься? Радиус пузыря равен r , поверхностное натяжение мыльной плёнки σ . Массой плёнки можно пренебречь. Учтеть, что давление воздуха внутри пузыря мало отличается от атмосферного давления p_0 .

2. В цилиндре с подвижным поршнем заключён мыльный пузырь радиуса r , наполненный воздухом. Вначале давление p_0 воздуха вне пузыря равно атмосферному. Медленным вдвиганием поршня мыльный пузырь сжимают так, что его радиус уменьшается вдвое. Определите давление p наружного воздуха в цилиндре в этот момент.

3. На сколько изменится молярная теплоёмкость c идеального газа по сравнению с аналогичной величиной при постоянном давлении c_p , если газ нагревать внутри мыльного пузыря радиуса $r = 1$ см. Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 40$ дин/см. Зависимостью величины σ от температуры пренебречь. Давление вне пузыря $p_0 = 1$ атм.

4. Найдите удельную теплоту испарения бензола $q_{\text{исп}}$ вблизи его тройной точки. В тройной точке температура $T = 279$ К, равновесное давление пара $p = 36$ мм рт. ст., удельная теплота плавления $q_{\text{пл}} = 30,2$ кал/г, а для кривой возгонки производная $dp/dT = 2,43$ мм рт. ст./К. Считайте бензольный пар идеальным газом.

5. Уксусная кислота при атмосферном давлении плавится при температуре $t = 16,6$ °С. Разность удельных объёмов жидкой и твёрдой фаз уксусной кислоты $\Delta v = 0,16$ см³/г. Точка плавления уксусной кислоты смещается по температуре на величину $\Delta T = 1$ К при изменении давления на величину $\Delta p = 41$ атм. Найдите удельную теплоту плавления q уксусной кислоты.

6. Получите зависимость давления насыщенного пара от температуры T при следующих предположениях: удельная теплота испарения q является линейной функцией температуры: $q = q_0 - aT$, где q_0 и a — постоянные коэффициенты; удельный объём жидкости пренебрежимо мал по сравнению с объёмом насыщенного пара; пар подчиняется уравнению состояния Менделеева —

Вариант 14

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Бесконечно длинную прямоугольную пластинку положили на поверхность смачивающей жидкости. Пластинку слегка приподнимают, и некоторое количество жидкости увлекается за ней вверх (рис. 4). Найдите уравнение боковой поверхности жидкости, которая установилась под влиянием капиллярных сил и силы тяжести.

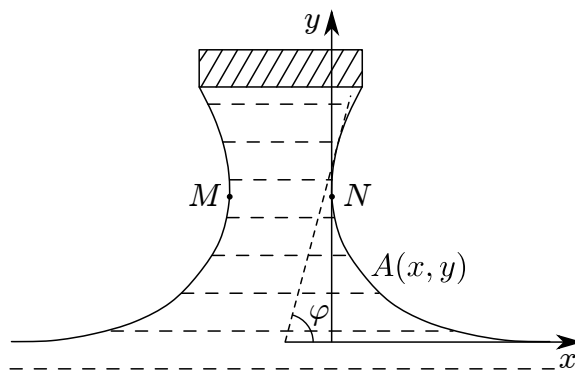


Рис. 4

2. На какую максимальную высоту h можно поднять пластинку над уровнем жидкости в предыдущей задаче? Определите толщину D приподнятого столба жидкости в наиболее узком месте MN при этой высоте поднятия (рис. 4). Найдите силу F , которую необходимо приложить к единице длины пластинки, чтобы оторвать последнюю от жидкости. Вес единицы длины пластинки равен q , её ширина — a .

3. Бесконечно длинную прямоугольную пластинку ширины a положили на поверхность не смачивающей её жидкости с поверхностным натяжением σ . Плотность ρ_0 материала пластинки больше плотности ρ жидкости. Найдите максимальную толщину h пластинки, при которой она ещё не утонет.

4. Температура воды в тройной точке $t = 0,01$ °С, удельная теплота плавления льда при этой температуре $q_{пл} = 80$ кал/г. Удельный объём водяного пара в тройной точке $v_{п} = 206\,000$ см³/г. По сравнению с ним можно пренебречь удельными объёмами льда и воды $v_{л}$ и $v_{в}$. Что больше при температуре 0 °С: давление насыщенного пара над водой $p_{в}$ или над льдом $p_{л}$? Чему равна разность $p_{в} - p_{л}$?

5. Из тонкостенного металлического шара радиуса $r = 10$ см выкачали воздух и поместили воду. Давление воздуха вне шара равно атмосферному. До какой максимальной температуры можно нагреть воду, чтобы ёмкость

не разорвалась. Стенки шара выдерживают предельное натяжение (на единицу длины) $\sigma = 88$ Н/см. Количество воды таково, что при максимальной температуре ещё не вся вода испарится, однако объём воды мал по сравнению с объёмом сосуда.

6. В закрытом сосуде при температуре $t = 20$ °С находится воздух с относительной влажностью $f = 80$ %. На сколько градусов следует понизить температуру стенок сосуда, чтобы на них выпала роса? При 20 °С удельная теплота парообразования воды $q = 600$ кал/г. Водяной пар рассматривайте как идеальный газ.

Вариант 15

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Если в трубке находится ряд капель (столбиков) какой-либо жидкости, то требуется значительное давление, чтобы продвинуть их вдоль трубки (независимо от того, смачивают они стенки трубки или не смачивают). Сопротивление смачивающих капель ещё более увеличивается, когда канал трубки попеременно суживается и расширяется. При этом капли собираются в суженных частях канала. Объясните явление.

2. Чтобы стряхнуть ртуть в медицинском термометре, требуется ускорение $a \sim 10g$, где g — ускорение свободного падения. Оцените диаметр перетяжки в капилляре термометра. Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 490$ дин/см, длина столбика ртути выше перетяжки $h \sim 5$ см, плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³.

3. На дне пруда глубиной $h = 2$ м выделяются пузырьки газа диаметром $d_1 \approx 0,05$ мм. Чему будет равен диаметр d_2 этих пузырьков, когда они поднимутся к поверхности воды? Поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см.

4. Найдите удельный объём $v_{\text{п}}$ водяного пара при 100 °С и нормальном давлении, если при давлении 735,5 мм рт. ст. вода закипает при температуре 99,1 °С. При 100 °С удельная теплота парообразования $q = 539$ кал/г.

5. В закрытом сосуде при температуре $t = 20$ °С находится воздух с относительной влажностью $f = 80$ %. На сколько градусов следует понизить температуру стенок сосуда, чтобы на них выпала роса? При 20 °С удельная теплота парообразования воды $q = 600$ кал/г. Водяной пар рассматривайте как идеальный газ.

6. Температура воды в тройной точке $t = 0,01$ °С, удельная теплота плавления льда при этой температуре $q_{\text{пл}} = 80$ кал/г. Удельный объём водяного пара в тройной точке $v_{\text{п}} = 206\,000$ см³/г. По сравнению с ним можно пренебречь удельными объёмами льда и воды $v_{\text{л}}$ и $v_{\text{в}}$. Что больше при температуре

$0\text{ }^{\circ}\text{C}$: давление насыщенного пара над водой $p_{\text{в}}$ или надо льдом $p_{\text{л}}$? Чему равна разность $p_{\text{в}} - p_{\text{л}}$?

Вариант 16

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Бесконечно длинную прямоугольную пластинку ширины a положили на поверхность не смачивающей её жидкости с поверхностным натяжением σ . Плотность ρ_0 материала пластинки больше плотности ρ жидкости. Найдите максимальную толщину h пластинки, при которой она ещё не утонет.

2. Какая сила F необходима для отрыва круглой невесомой пластинки радиуса $r = 8$ см, положенной на поверхность воды? Поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см. Пластинка смачивается водой.

3. С какой силой F притягиваются две вертикальные и параллельные стеклянные пластинки, частично погружённые в воду так, что расстояние d между ними равно $0,1$ мм? Ширина пластинок $l = 15$ см, поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см, угол смачивания $\Theta = 0^{\circ}$. Высота пластинок такова, что вода не доходит до их верхнего края.

4. Стакан наполнен водой до высоты 10 см. На его дне лежат капиллярные трубки, запаянные с одного конца и заполненные воздухом. Когда вода кипит, на открытых концах капилляров образуются пузырьки пара, диаметр которых в момент отрыва равен $0,2$ мм. Чему равна температура на дне сосуда во время кипения, если атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.? Поверхностное натяжение кипящей воды $\sigma = 57$ дин/см, а давление водяного пара возрастает на 27 мм рт. ст. при повышении температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ вблизи $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Кусок льда помещён в адиабатическую оболочку при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении. Как изменится температура льда, если его адиабатически сжать до давления $p = 100$ атм? Какая доля льда $\Delta m/m$ при этом расплавится? Удельный объём воды $v_{\text{в}} = 1$ см³/г, льда — $v_{\text{л}} = 1,09$ см³/г. Удельные теплоёмкости воды $c_{\text{в}}$ и льда $c_{\text{л}}$ связаны соотношением $c_{\text{л}} \approx 0,6c_{\text{в}}$.

6. Насыщенный водяной пар при температуре $T = 300$ К адиабатически сжимают и адиабатически расширяют. В каком из этих процессов пар становится ненасыщенным, а в каком — пересыщенным?

Вариант 17

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Между двумя кольцами одинакового радиуса r образовалась цилиндрическая мыльная плёнка, причём основания колец также затянуты мыльными плёнками (имеющими, как легко показать, сферическую форму). Найдите соотношение между радиусами цилиндрической и сферической частей плёнок.

2. В задаче 1 давление воздуха внутри пузыря слегка изменяют, вследствие чего прямолинейные образующие цилиндрической поверхности искривляются. Покажите, что если искривление мало, то образующая примет форму синусоиды (причём её период будет равен длине окружности $2\pi r$ основания невозмущённой цилиндрической плёнки). Пользуясь этим результатом, докажите, что если расстояние между кольцами меньше πr , то при увеличении внутреннего давления воздуха пузырь будет выпучиваться, а при уменьшении давления — сужаться. Если же расстояние между кольцами больше πr , но меньше $2\pi r$, то увеличение внутреннего давления заставит боковую поверхность плёнки сделаться вогнутой, а уменьшение — выпуклой.

3. С какой силой F притягиваются две вертикальные и параллельные стеклянные пластинки, частично погружённые в воду так, что расстояние d между ними равно 0,1 мм? Ширина пластинок $l = 15$ см, поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см, угол смачивания $\Theta = 0^\circ$. Высота пластинок такова, что вода не доходит до их верхнего края.

4. Определите удельную теплоёмкость c насыщенного пара, расширяющегося (или сжимающегося) таким образом, что во время процесса он всё время остаётся насыщенным. Пренебрегите удельным объёмом жидкости по сравнению с удельным объёмом её насыщенного пара. Считайте, что пар подчиняется уравнению состояния Менделеева — Клапейрона. Проведите расчёт для воды при температуре $T = 373$ К, считая, что к водяному пару применима классическая теория теплоёмкости. Удельная теплота парообразования воды $q = 539$ кал/г.

5. Стакан наполнен водой до высоты 10 см. На его дне лежат капиллярные трубки, запаянные с одного конца и заполненные воздухом. Когда вода кипит, на открытых концах капилляров образуются пузырьки пара, диаметр которых в момент отрыва равен 0,2 мм. Чему равна температура на дне сосуда во время кипения, если атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.? Поверхностное натяжение кипящей воды $\sigma = 57$ дин/см, а давление водяного пара возрастает на 27 мм рт. ст. при повышении температуры на 1°C вблизи 100°C .

6. Определите изменение энтропии системы, состоящей из воды и насыщенного пара, при переходе её в насыщенный пар. Начальная температура

системы T_1 , конечная T_2 . Начальная масса пара m_1 , конечная m_2 . Пренебрегите зависимостью от температуры удельной теплоты парообразования воды q . Рассматривайте пар как идеальный газ.

Вариант 18

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Определите глубину h ртутной лужицы на плоском горизонтальном стекле. Поперечные размеры лужицы велики по сравнению с её глубиной. Поверхностное натяжение ртути на границе с воздухом $\sigma = 490$ дин/см, краевой угол на стекле $\Theta = 140^\circ$. Плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³.

2. Стальная иголка (лучше предварительно покрыть её тонким слоем парафина) может плавать на поверхности жидкости (рис. 5). Найдите радиус иголки r , ширину зазора D между боковыми поверхностями жидкости в наиболее узком месте MN , а также глубину погружения H для различных значений угла Θ , образуемого с горизонталью общей касательной к поверхности иголки и жидкости. Плотность стали $\rho_0 = 7,8$ г/см³, поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см. Определите максимальный радиус иголки, при котором она ещё не утонет. Найдите максимальную возможную глубину погружения и соответствующий ей радиус иголки. Для расчёта замените иглу бесконечно длинным цилиндром.

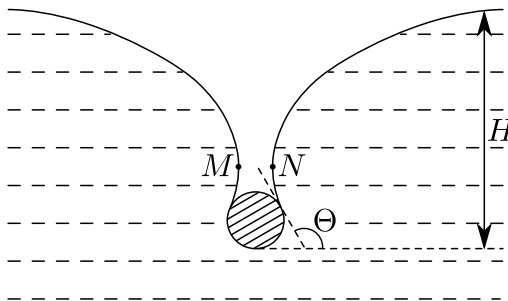


Рис. 5

3. Две вертикальные параллельные пластинки частично погружены в жидкость. Покажите, что между ними будет наблюдаться притяжение, если обе пластинки либо смачиваются, либо не смачиваются жидкостью, и отталкивание, если одна пластинка смачивается жидкостью, а другая нет.

4. Три фазы 1, 2 и 3 находятся в равновесии друг с другом в тройной точке (рис. 6). Их удельные объёмы в этой точке равны соответственно v_1 , v_2 и v_3 . Пусть $p_{12}(T)$, $p_{23}(T)$ и $p_{31}(T)$ — уравнения кривых равновесия между фазами 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1. Покажите, что в тройной точке выполнено равенство

$$(v_1 - v_2) \frac{dp_{12}}{dT} + (v_2 - v_3) \frac{dp_{23}}{dT} + (v_3 - v_1) \frac{dp_{31}}{dT} = 0.$$

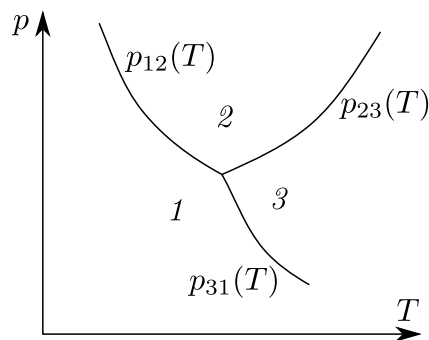


Рис. 6

5. Найдите повышение температуры кипения воды при увеличении давления на одну избыточную атмосферу (относительно точки кипения воды в нормальных условиях). Удельная теплота испарения воды $q = 539$ кал/г.

6. Найдите удельный объём $v_{\text{п}}$ водяного пара при 100 °С и нормальном давлении, если при давлении $735,5$ мм рт. ст. вода закипает при температуре $99,1$ °С. При 100 °С удельная теплота парообразования $q = 539$ кал/г.

Вариант 19

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Определите форму мыльной плёнки, края которой закреплены на двух одинаковых кольцах радиуса r , удалённых друг от друга на расстояние $2h$. Центры колец лежат на общей прямой, перпендикулярной к их плоскостям. Плоскости колец не затянута плёнками.

2. Между двумя кольцами одинакового радиуса r образовалась цилиндрическая мыльная плёнка, причём основания колец также затянута мыльными плёнками (имеющими, как легко показать, сферическую форму). Найдите соотношение между радиусами цилиндрической и сферической частей плёнок.

3. Решите задачу 1 в предположении, что не только боковая поверхность, но и плоскости колец затянута мыльными плёнками.

4. Найдите зависимость давления насыщенного пара от температуры в следующих упрощающих предположениях: удельная теплота парообразования q не зависит от температуры; удельный объём жидкости пренебрежимо мал по сравнению с удельным объёмом пара; пар подчиняется уравнению состояния Менделеева — Клапейрона. (Эти упрощения допустимы вдали от критической температуры, если интервал изменения температуры не слишком широк.)

5. Получите зависимость давления насыщенного пара от температуры T при следующих предположениях: удельная теплота испарения q является ли-

нейной функцией температуры: $q = q_0 - aT$, где q_0 и a — постоянные коэффициенты; удельный объём жидкости пренебрежимо мал по сравнению с объёмом насыщенного пара; пар подчиняется уравнению состояния Менделеева — Клапейрона.

6. Определите приближённо давление и температуру (по шкале Цельсия) в тройной точке воды, пользуясь следующими данными. Давление насыщенного пара над жидкостью $p_1 = 4,579$ мм рт. ст. при температуре $t_1 = 0$ °С, $p_2 = 4,926$ мм рт. ст. при $t_2 = 1$ °С. При 0 °С и нормальном давлении $p_0 = 760$ мм рт. ст. удельный объём льда $v_{\text{л}} = 1,091$ см³/г, а удельный объём воды $v_{\text{в}} = 1$ см³/г. Удельная теплота плавления льда $q = 80$ кал/г.

Вариант 20

См. правила оформления работы на с. 3.

1. Определите глубину h ртутной лужицы на плоском горизонтальном стекле. Поперечные размеры лужицы велики по сравнению с её глубиной. Поверхностное натяжение ртути на границе с воздухом $\sigma = 490$ дин/см, краевой угол на стекле $\Theta = 140^\circ$. Плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³.

2. Стальная иголка (лучше предварительно покрыть её тонким слоем парафина) может плавать на поверхности жидкости (рис. 7). Найдите радиус иголки r , ширину зазора D между боковыми поверхностями жидкости в наиболее узком месте MN , а также глубину погружения H для различных значений угла Θ , образуемого с горизонталью общей касательной к поверхности иголки и жидкости. Плотность стали $\rho_0 = 7,8$ г/см³, поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ дин/см. Определите максимальный радиус иголки, при котором она ещё не утонет. Найдите максимальную возможную глубину погружения и соответствующий ей радиус иголки. Для расчёта замените иглу бесконечно длинным цилиндром.

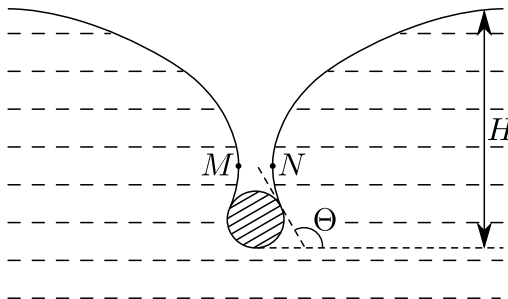


Рис. 7

3. Определите форму мыльной плёнки, края которой закреплены на двух одинаковых кольцах радиуса r , удалённых друг от друга на расстояние $2h$.

Центры колец лежат на общей прямой, перпендикулярной к их плоскостям. Плоскости колец не затянуты плёнками.

4. Насыщенный водяной пар при температуре $T = 300$ К адиабатически сжимают и адиабатически расширяют. В каком из этих процессов пар становится ненасыщенным, а в каком — пересыщенным?

5. Определите изменение энтропии системы, состоящей из воды и насыщенного пара, при переходе её в насыщенный пар. Начальная температура системы T_1 , конечная T_2 . Начальная масса пара m_1 , конечная m_2 . Пренебрегите зависимостью от температуры удельной теплоты парообразования воды q . Рассматривайте пар как идеальный газ.

6. Три фазы 1 , 2 и 3 находятся в равновесии друг с другом в тройной точке (рис. 8). Их удельные объёмы в этой точке равны соответственно v_1 , v_2 и v_3 . Пусть $p_{12}(T)$, $p_{23}(T)$ и $p_{31}(T)$ — уравнения кривых равновесия между фазами 1 и 2 , 2 и 3 , 3 и 1 . Покажите, что в тройной точке выполнено равенство

$$(v_1 - v_2) \frac{dp_{12}}{dT} + (v_2 - v_3) \frac{dp_{23}}{dT} + (v_3 - v_1) \frac{dp_{31}}{dT} = 0.$$

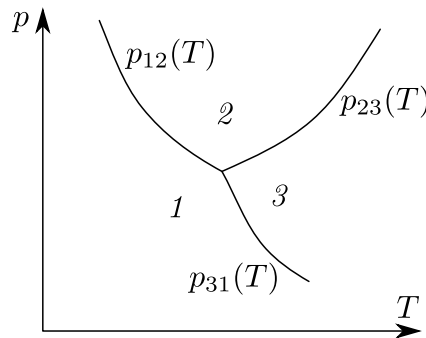


Рис. 8

Сборник индивидуальных заданий по физике
Термодинамика и молекулярная физика
Часть III. Фазовые переходы, поверхностное натяжение

Учебно-методическое пособие для студентов факультета
«Высшая школа общей и прикладной физики»

Составители:

Сергей Александрович Корягин
Андрей Валентинович Кочетов
Вячеслав Александрович Миронов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н. И. Лобачевского»
603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23