*§* 7. *Насыщенные пары и жидкости*

При решении задач этого раздела используются данные  
таблиц 3,6,7,8,10 из приложения, кроме того, следует учесть  
указание к § 5.

1. В таблице 8 дано давление водяного пара, насыщающего  
   пространство при разных температурах. Как составить из эти\  
   данных таблицу т масс водяного пара в объеме V -1 воз  
   духа, насыщенного водяным паром при разных темперагурах^  
   Для примера решить задачу при температуре t = 50° С.

Решение:

Из уравнения Менделеева —Клапейрона т = — (1).

*RT*

При Т =323 К давление насыщенного пара рн =12,ЗкПа  
Молярная масса водяного пара р = 0,018 кг/моль, тогда из

1. получим m = 82 г.
2. Найти плотность рп насыщенного водяного пара при  
   температуре / = 50° С.

Решение:

По таблице 8 находим давление водяного пара, насы-  
щающего пространство при температуре t - 50° С. Оно  
равно рн =12,302 кПа. Из уравнения Менделеева —Кла-

***m m p.jLi***

пеирона pV = — RJ выразим плотность

Подставляя в полученное выражение числовые данные,  
12,302 10' 0,018

= 0,082 кг/м'.

найдем: р-

1. Во сколько раз плотность рн насыщенного водяного па-  
   ра при температуре t = 16° С меньше плотности р воды.

Решение:

Плотность насыщенного пара (см. задачу 7.2)

где ри = 1,809 кПа, тогда р. = 0.014 кг/м3 и

плотностей — = 73754.

*Рн*

*Ри*

*RT*

отношение

1. Во сколько разных плотность рн1 насыщенного водяного  
   пара при температуре /, = 200° С больше плотности рп2 насы-  
   щенного водяного пара при температуре = 100° С?

Решение:

Давления насыщенного пара при температуре tx и t2соответственно равны рн1 =1549890 Па и рх0 =101080 Па.

Плотность насыщенного пара (см. задачу 7.2) рн - ,

тогда отношение плотностей = 12,09.

Рн 2 Рн2^2

1. Какая масса т водяного пара содержится в объеме  
   У = 1 м^ воздуха в летний день при температуре / = 30° С и отно-  
   сительной влажности со = 0,75 ?

Решение:

Относительная влажность определяется соотношением

*р*

со - -—, где р — давление водяного пара, находящегося в  
Рн

воздухе, и piX — давление водяного пара, насыщающего  
1ЧЮСТпят!сттзо ппи пянной темпепатупе. Из упавнения Мен-делеева—Клапейрона т - —- = —°'^1

*RT RT*

(1). При

Т = 303 К давление насыщенного пара рп = 4.23 кПа.  
Молярная масса водяного пара // = 0,018кг/моль. Тогда из

1. получим m = 22.5 г.
2. В замкнутом объеме К = 1м\* относительная влажность  
   воздуха со = 0,6 при температуре t = 20° С. Какая масса Д/.\>  
   воды должна еще испариться в этот объем, чтобы водяной пар  
   стал насыщенным?

Решение:

По определению, относительная влажность со = —. где

Р« '

р — давление водяного пара, содержащегося в воздухе.  
ри — давление насыщенного пара при той же  
температуре. Из уравнения Менделеева—Клапейрона

*pV = — RT* имеем (/;н *-p)V = ^-RT,* где *р = о-рн,* то-

*р р*

/ ч A/// *pVp{\-co)*

гда рн [\ -co)V = R7 , откуда Ат =-—— = 6,88 г.

*р RT*

1. Температура комнаты **/j=18°C,** относительная влаж-  
   ность со == 0,5 . В металлический чайник налили холодную воду,  
   какова температура t2 воды, при которой чайник перестанет  
   запотевать?

Решение:

Давление водяного пара, содержащегося в воздухе, при  
температуре /j=18°C равно р1=(О’Р01, где рт —даз  
лепие насыщенного пара при той же температу ре. Сравним  
давление рх с давлением насыщенного водяного пара

при температуре t2. Сели р] < pG,, пар конденсироваться  
348

не будет, т.е. чайник перестает запотевать при рх = р02.  
Отсюда со • р01 = р02. Определив по таблице 8 значение  
/;01, вычислим р02=Ю34 Па, что соответствует темпе-  
ратуре t2 « 7° С.

1. Найти число п молекул насыщенного водяного пара, со-  
   держащихся в единице объема при температуре /, = 30° С.

Решение:

При t = 30° С, по таблице 8 находим для данной темпе-  
ратуры рм=4229Па. Из уравнения Менделеева—Кла-

*р V*

пейрона pHV = vRT найдем число молей v = ——. Число

*R.T*

*р VN*

частиц в объеме V равно N = vNA = ———, а в единице

*RT*

объема и = — = = 1,0 И • 1024 м'3.

*V RT*

1. Масса /77 = 0,5 г водяного пара занимает объем Vt =10л  
   при температуре t = 50° С, какова при этом относительная влаж-  
   ность со ? Какая масса А/?г пара сконденсируется, если изотер-  
   мически уменьшить объем от 1'\ до V2 = Vl /2 ?

Решение:

Из таблицы находим давление насыщенного пара при  
температуре Г = 323 К, которое равно р0 = 12302 Па. Из

***711***

уравнения Менделеева — Клапейрона pVx = — RT нахо-

*М*

*mRT*

дим давление р . Тогда относительная влажность

*рУ\*

1. = — - ; со-0,606• 100% = 60,6% . Найдем массу

*Ра PaPv\*

водяного пара при относительной влажности 100% и ,исо,=1, тогда давление р- р0 = 12302Па. Учитывая, что

V2=%- из уравнения Менделеева — Клапейрона =

jfi-Am D\_ . *p0V\р*

RT находим т - Ат - J . Отсюда масса

2 *RT*

И

сконденсированного пара равна Ат = т - ^— = 87,5 мг.

*2RT*

1. В камере Вильсона объемом V = \л заключен воздух,  
   насыщенный водяным паром. Начальная температура камеры  
   = 20° С. При движении поршня объем камеры увеличился до

У2 = 1,25VX. Расширение считать адиабатическим, причем пока-

c.,

затель адиабаты / = — = 1,4 . Найти: а) давление водяного пара

*сг*

до расширения; б) массу тх водяного пара в камере до расши-  
рения; в) плотность р, водяного пара до расширения; г) темпе-  
ратуру /2 пара после расширения ( изменением температуры из-  
за выделения тепла при конденсации пара пренебречь); д) массу  
Дт сконденсированного пара; е) плотность р, водяного пара

после конденсации; ж) степень перенасыщения, т.е. отношение  
плотности водяного пара после расширения (но до конденсации)  
к плотности водяного пара, насыщающего пространство п; п  
температуре, установившейся после конденсации

Решение:

а) До расширения насыщенный водяной пар находится п{ и  
температуре /, = 20° С, следовательно, давление этого пара  
р, = 2,33 кПа см. таблицу 8. б) Масса водяного пара до рас-  
ширения тх ~ -= 17.2 • 10~6 кг. в) р -EllL - 17 2 и  
1 RTX RT{

х 10\_> кг/м"", г) Т.к. процесс считается адиабатическим, то  
350

т

Т2 = 268 К. д) При температуре t2=-5°C

давление насыщенного водяного пара р2 =399 Па. Мас-  
са пара в камере, соответствующая этому значению,

щ zzEltKl. - 4,0 • 10“б кг. Следовательно, масса сконденси-  
RT2

доованного пара Am = т{ - т2 = (l 7,2 — 4,0) = 13,2 ■ 10~б кг.  
ё) р2 =3,2-1(Г3 кг/м', ж) Т. к. плотность водяного

/77

jrapa после расширения (но до конденсации) ръ =—- =

К,

17,2 \*10 з з з

,-б

-кг/м =13.7-10 кг/м, то степень перенасы-

1,25-10~'

Р;

= 4.3.

щения s = — -

*Pi*

1. Найти удельный объем v воды в жидком и парообраз-  
   ном состояниях при нормальных условиях.

Решение:

По определению, удельный объем жидкости и пара

[V Vn ’ *V* vn](#bookmark6)

соответственно уж = и Vn =\_л = \_д\_ Молярный

*т* // *tn р*

объем жидкости У0ж=р/р, тогда удельный объем

К 1 з ,

жидкости гж = —— =— = 10" м7кг. Молярный объем пара  
Р Р

*RT*

найдем из соотношения: V0n = , тогда удельный

Р-Pi I

*RT*

объем пара vn = — г = 1,25 м7кг.

Р(Р-Р«)

1. Пользуясь первым законом термодинамики и данными  
   таблицы Т и 8. найти удельную теплоту парообразования г **возы**при / = 200° С. Для воды критическая температура **Гк=647** К,  
   критическое давление р = 22 МПа. Проверить правильность  
   полученного результата по данным таблицы 9.

Решение:

Количество теплоты Q при испарении тратится на преодо-  
ление сил взаимодействия молекул и на работу расши-  
рения. Таким образом, согласно первому закону термо-  
динамики имеем Q = r0=AlV + A — (1), где г0 — мо-  
лярная теплота парообразования, AW — изменение мо-  
лярной внутренней энергии сил взаимодействия при  
испарении, А — молярная работа, совершаемая против  
внешнего давления. А = рн (VQn - У0ж) — (2), где рн —

давление насыщенного пара, У0ж — молярный объем жид-  
кости, Von — молярный объем пара. Имеем \*0» =

= — = 18-10“6м3/моль, где р — молярная масса и р —  
Р

плотность воды. Из уравнения Менделеева — Клапейрона  
V0n=vRT/pH. При Т = 473 К имеем (см. таблицу 8)

р- 1,55МПа и К0н = 2.5 л/моль. Считая, что изменение  
внутренней энергии взаимодействия молекул при  
испарении соответствует уравнению Ван-дер-Ваальса (см.

задачу 6.18), имеем

A *W =*

*у24Кп -VqJ*

*Vo-Лп*

(3),

пе

а ~ 5,56\*102 Па-м6/моль2. Поскольку У0ж « V0n, то из(1) —

1. получим /\*0 = + pHV0n = — + RT = 35 кДж/моль.

*Р*

Следовательно, удельная теплота парообразования воды

г =— = 1,95 МДж/кг. Из таблицы 9, для температ\гы  
Р

t = 200° С значение г = 1,94 МДж/кг.

1. Какая часть теплоты парообразования воды при темпе-  
   ратуре / = 100° С идет на увеличение внутренней энергии систе-  
   мы?

Решение.

Согласно первому началу термодинамики r{) = AIV + A, где  
г0~гр —молярная теплота парообразования; ЛIV —из-  
менение внутренней энергии; А - ри (к0г. - У0ж) — работа,  
совершаемая против сил внешнего давления. Тогда  
— = '~ А = г!!~ РЛУ,К-ус,к)

. Молярные объемы жид-

*ц gf*

кости и пара соответственно оавны \\:а. = — и F0ll = ——

*Р Рп*

*\_ rp* - *рн (RT / рн* - *и* / *р*). *AW*

*AVV*

следовагельно,

9 “ А

*г и*

*Ри\_*

*гр*

*RT р A W*

*\Р\* Р.*

= 0,924 • 100% = 92,4% .

1. Удельная теплота парообразования бензола (С6Н6) при  
   температуре t = n°C равна т = 398кДж/кг. Найти изменение  
   внутренней энергии AW при испарении массы Aw = 20 г бен-  
   зола.

Решение:

Изменение внутренней энергии (см. задачу 7.13)  
AW = г0 - А = Атг - А . Работа против сил внешнего дав-  
ления А = pAV ~^-RT, где р = 0,078 — молярная масса  
Р

бензола. Тогда AW - Am(r -RT/р) = 7,21 кДж.

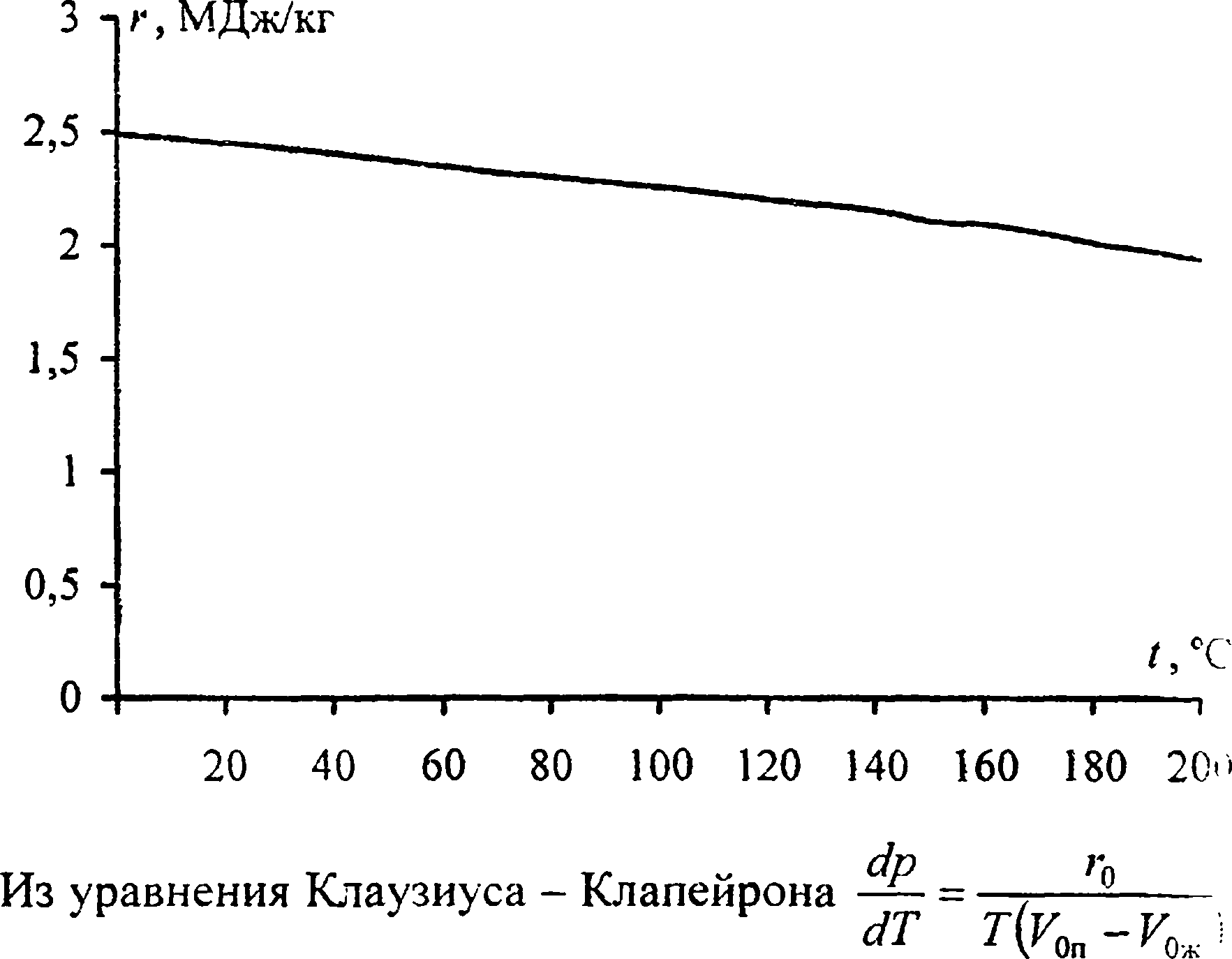
1. Пользуясь уравнением Клаузиуса — Клапейрона и дан-  
   ными таблицы 8. найти удельную теплоту парообразования г

353

M2-326S

воды при температуре t = 5° С. Проверить правильность полу,  
ченного результата по данным таблицы 9.

Решение:



1. . Считая, что насыщенные пары подчиняются урав-  
   нению Менделеева — Клапейрона, для т = 1моль им. ем

К0п = . Т. к. (см. таблицу 8) при /=5°С давление

*Р*

насыщенного пара рн=870Па, то VQn = 2,65 м3Лк ль.

Кроме того, V0 = — <18\*10-6 м7моль. Таким обра: м.

*Р*

У0ж «К0п, и тогда уравнение (1) можно записать лк

**Ф ГоР Ф П) dT /оч тт \***

—1или — = ——г (2). Для небольшого иь . р-

*dT RT2 pRT2*

вала температур Т2-Т1 молярную теплоту испаренш j  
можно считать постоянной, и тогда, интегрируя уравнение(см. таблицу 8) и ^1 = 1,15. Подставляя в (4) числовые

*Р\*

данные, получим г0 = 45 кДж/моль. Отсюда удельная

теплота парообразования г = — = 2,49 МДж/кг. Построив

*Р*

по данным таблицы 9 график г- f(t)> найдем, что при  
■•/•= 5° С имеем г = 2,48 МДж/кг.

1. Давления насыщенного ртутного пара при температурах  
   f, = 100° С и t2 = 120° С равны рх = 37,3 Па и рг = 101,3 Па.  
   Найти среднее значение удельной теплоты парообразования г  
   ртути в указанном интервале температур.

Решение:

Л T{V0n-V0.J'  
где молярные объемы пара и жидкости соответственно

Из уравнения Клаузиуса — Клапейрона — =

У dp r0(dT  
**(2),** получим **j —= -ij —**

*Pi " T, 1*

*f*

1 1

*Pi  
RTJ, In*

V^2

fPi)

*\Pt;*

**!i** J

*r P-> ro(T->-T\)*

'V'~"T5T'~<)' У г,-л

Здесь р{ и р2 — давления насыщенного пара при темпе-  
ратурах 7} и Т2. Для величин 7] и Т2 можно взять  
рачения tx = 4° С t2= 6° С. Тогда р{ =811 Па, р2 = 932 Па

(4).

равны у0 =

*RT*

*и*

имеем

*dp г0р*

или

*dp\_r0dT*

*Р лт2*

*Рп р pt RT2*

Проинтегрировав полученное уравнение,

; *P->* r0(r->-7j) *RTXT0 ln(p-, /pA*

*P\ RTJ2 T2-Tx*

r=%-= RT'T-i}n(Pi/ P■); r = 0,304-106 Дж/кг.

M p(r2-r,)

1. Температура кипения бензола (C6H6) при давлен: ы  
   р = 0,1 МПа равна /к = 80,2° С. Найти давление р. насыщенно! о  
   пара бензола при температуре t = 15,6° С. Среднее значенье  
   удельной теплоты парообразования бензола в данном интервале  
   температур принять равным г = 0,4 МДж/кг.

Решение:

Среднее значение удельной теплоты парообразования (с :.  
RTXT21п(р2 / рх)

задачу 7.16) г =——- ч - . В нашем случае р2= р и

*Р\Т2~Т\)*

р{ = рн, тогда In — = 1 ^ ———. Возьмем от обоих частей  
Рн RT\T1

*P*

данного уравнения экспоненту - ехр

*Рн*

*\*

*гр{Т2-Тх)  
RTX*;

от-

куда рп =

*Р*

*exp(rp{T2-Tx)/{RTxT2))*

87-103 Па.

1. Давления насыщенного пара этилового cnnpia  
   (С2Н5ОН) при температурах /,=40° С и t2=60°C равны

/7, = 17,7 кПа и р2=67,9кПа. Найти изменение энтропии ло  
при испарении массы Aw = lr этилового спирта, находящего^';  
при температуре t = 50° С.

Решение:

Из уравнения Клаузиуса - Клапейрона

dp \_ Гр  
dT Г(К0п-Ь0ж)

1. , считая, что насыщенные пары подчиняются уравнению
2. — (2). Интегрируя уравнение (2), получим

*dp \_ >Ъ dT  
р* ” Л?

Менделеева — Клапейрона, имеем для одного моля  
RT

у°"=р- Кроме того, У0ж « Von- Тогда уравнение (1)

*dp*

можно записать следующим образом:

*г0Р*

*dT RT*2

или

1 *Pi го&~Т\)* /оч *RT\T? 1п(р2 /рЛ*

= — (3), откуда г0=—

Р1

*RTXT2*

т2-т\

1. . Изменение энтропии AS = —, где v =

и с учетом

*Т р*

(4) AS = —'Ь—^./,р^Ат = 2,92 Дж/К.

■■ *(Т2-ТМ ^*

1. Изменение энтропии при испарении количества  
   Ду = 1моль некоторой жидкости, находящейся при температуре  
   7j=50°C, равно AS = 133 Дж/К. Давление насыщенного пара  
   при температуре = 50° С равно р, = 12.33 кПа. На сколько ме-  
   няется давление насыщенного пара жидкости при изменении  
   температуры от = 50° С до /, = 51° С?

**Решение:**

Изменение энтропии (см. задачу 7.18) равно  
\_ RT{T2 ln(p2 / р, )Дщ

**(twiR**

*RT\T2 ln(p,* / *pt*)Ai' д c \_ *RT2 ln{p2 /p,)Av*

*T2 T,*

AS -  
получим: AS =  
откуда In

fc-r,) Tt

Преобразуя это выражение,  
: Д£ =

*Г P2)\_(Ta-7])aS*

***\P\J***

*RT,Av*

. Возьмем от обеих частей

*Pi*

экспоненту^ и найдем отношение J^s- = exp

*Pi*

*(T2-r,)AS*

*у RT2 Av*

V

1. До какого предельного давления р можно откачать со-  
   суд при помощи ртутно-диффузионного насоса, работающего  
   без ртутной ловушки, если температура водяной рубашки насос >  
   / = 15СС? Давление насыщенного ртутного пара при темпе-  
   ратуре /0 = 0° С равно р0 = 0,021 Па, среднее значение удельно!;

*(*

откуда р2 = р{ ехр

V

*(t2-t{)as*

*RT,Av*

насыщенного пара Ар = р2 - рх- р]Ар = 12,33 -103

*ехр*

Тогда изменение давлен и л  
(Г2-7;)Д5л

*(  
ехр*

^ V *RT1&V )*

(324-323)\* 133^ Л

-1

V Ч 8,31-324\*1 J J

= 624 Па.

теплоты парообразования ртути в данном интервале температур  
принять равным г = 10,08 МДж/кг.

Решение:

До давления р = 93 мПа, т. е. до давления насыщенного  
ртутного пара при t = 15° С.

1. При температуре г0 =0°С плотность ртути р0 =13,6х  
   х103кг/м3. Найти ее плотность р при температуре t = 300° С.  
   Коэффициент объемного расширения ртути (5 = 1,85 \* 10-4 К-1.

Решение:

Имеем *Ро~—* и *р~ —*, где *V = V0(\ + fit).* Тогда  
*Vo V*

р = —^2—= 12,9-103 кг/м3.

1 *+ pt*

1. При температуре tk = 100° С плотность ртути р, =13,4 >  
   х103кг/м3. При какой температуре t2 плотность ртутг  
   358

/>2=13,4 •103 кг/м3? Коэффициент объемного расширения ртути  
/? = 1,8-10^ К"1.

Решение:

Относительное изменение объема при нагревании

*AV ы* ч \_ *М*

-р- ~ Ру 1 ~ h) • По определению, плотность р = —, тогда

w ... т

(2). Разделим (2) на (1)

Р\~ — — (1), а а =

1. *V 2 V-AV*

*V*

Pi \_

А !

**4г = 1-^,-/2)» отк>да Ж'-'\*)-**

=1-—. Тогда изменение температуры tl -t2 = ~——- и,

*Р2*

*РгР*

окончательно, t2

1. Найти плотность р морской воды на глубине h = 5 км,  
   если плотность ее на поверхности р0 = 1,03 • 103 кг/м3. Сжима-  
   емость воды £ = 4,8-КГ10 Па-1. Указание: при вычислении  
   гидростатического давления морской воды ее плотность прибли-  
   женно полагать равной плотности воды на поверхности.

Решение:

*AV*

Относительное изменение объема при сжатии = ~кАр,

*V\**

где к [Па~!] — сжимаемость, величина, показывающая, на  
какую часть уменьшился объем жидкости при увеличении  
давления на 1 Па. Изменение давления Ар равно давлению

водяного столба высотой ht которое по закону Паскаля  
Ар - jo0gh, т.к. по условию плотность приблизительно  
равна плотности на поверхности. Плотность у поверхности

359

p VG

**Отсюда плотность морской воды на глуби**

Ai

Р =

1“

= 1.055 кг/м3.

7.24. При нор.лал ьнь!\  
/. =9 10 '' ШГ\ ксэффииие;-

>слознях сжимаемое! о  
объемного расы пре наг

::’о ' К . На сколько необходимо увеличить внешнее  
чтобы при нагревании на **\?** - 1 К объем бензола не юмо:

**Решение:**

**Относительное изменение объема жидкости про**

*AV AV ,*

**вании** и сжатии соответственно ЬАТ и = к

V ' V

**условию объем бензола не меняется, поэтому ДОГ**

/&т , ,Аб

**откуда** Ар

**= 1,38-10 Па.**

**7.25.** Коэффициент объемного расширения ртути /У ■■

хЮ""К“!. Чтобы при нагревании ртути на **At =** 1 К ее  
не изменился, необходимо увеличить внешнее давлъ  
**Ар** = **4,7** МПа. Найти сжимаемость **к** ртути.

Решение:

**Чтобы объем не изменился (см. задачу 7.24), необм  
чтобы** рАТ = кАр **. Отсюда сжимаемость ртути** к-:-

**= 3.87-10 Па-**

**•:Да**

.71.  
'на

. о да  
-4 к

**"ре-**

По

*:\р<*

32 х

■ леМ  
на

r-.iO,

1. **Найти** разность уровнен **Л/? ртути** в двух одинаковых  
   сообщающихся стеклянных **трубках,** если левое колено под-  
   держивается при тем пера !> ре = 0° С, **а** правое нагрето до

температуры 7 = 100° С Высота левого колена /у. - 90 см. Коэф-  
фициент объемного расширения ртути В - 1,82 -10 4 К'1. Расши-  
рением стекла пренебречь.

**Решение:**

Относительнее изменение объема жидкое ги при  
\1'

нагревании -7— = /ЗАВ . 1. к. площадь поперечного сечения

трубок одинакова и равна 5\ то объем в холодном колене  
Vq = ShQ, а в подогретом колене У-, т LV - 3\!i0 + Л/?), тогда

*У/*

Ml

= 1 - ПАТ = —-  
' /,

От стола разность

уровней *Mi* = *hj}* - */ЗА Г - И.,/ЗаТ* ■= 16,4 см.

1. Ртуть налита в стеклянный сосуд высотой 1 = 10 см.  
   При температуре 7= 20°С уровень ртути на h = 1 мм ниже  
   верхнего края сосуда. На сколько можно нагреть ртуть, чтобы  
   она не вылилась из сосуда? Коэффициент объемного расши-  
   рения ртути (3 - 1,82 • 10'А К1. Расширением стекла пренебречь.

**Решение:**

Начальный объем ртути V0 =S(l-h), где S — площадь  
поперечного сечения сосуда, а ее конечный объем

У0+.АУ = SL . Тогда ^0 **^**= 1 - /ЗАТ = —-— , откуда  
0 У0 L-h

/7

после преобразования получаем АТ = = 55,5 К.

1. Стеклянный сосуд, наполненный до краев ртутью, при  
   температуре 7 = 0° С имеет массу Л/= 1 кг. Масса пустого

сосуда М0 = 0,1 кг. Найти массу да ртути, которая мс.;;етпоместиться в сосуде при температуре t = 100° С. Коэффиш;,Нтобъемного расширения ртути 0 = 1,82-10“\* К"1. Расширением  
стекла пренебречь.

**Решение:**

Масса ртути, находящаяся в сосуде при температуре /  
равна т0 = М - М0, тогда плотность ртути при данной

откчда

|  |  |
| --- | --- |
| т  температуре р = —. | Отношение |
| 7.22) = | т  тогда — |
| Ро Щ | «о |
| О  II  1  1  о  II | 1  ><  0  1  3, |

1. Решить предыдущую задачу, если коэффициент объем-  
   ного расширения стекла 0' = 3 • 10-5 К-1.

**Решение:**

При нагревании объем сосуда стал V - V0(\ + 0\*t\ соотв^т-

*т т*

ственно плотность ртути р =— =—; г — (1). С дг\;-

*V V0(\* + *fi't)*

гой стороны, р = - —— = —г^!—г — (2). Приравни; .1Я  
1 + Pt V<s{\ +fit)

/?/п(1 **Т** В/) \_\_\_

уравнения (1) и (2), получим т = ————- - 887 г.

*\ + 0t*

1. Стеклянный сосуд наполнен до краев жидким мае. 'i  
   при температуре г0 = 0° С. При нагревании сосуда с маслом о  
   температуры / = 100° С вытекло 6% налитого масла. На; и  
   коэффициент объемного расширения масла, если коэффииг т  
   объемного расширения стекла 0 = 3 • 10 5 К-1.

**Решение:**

При нагревании объем сосуда увеличился и стал равным  
^=r0(i+/? t), и объем масла также увеличился и стал  
равным v2=v0(\ + /?\*). Количество масла, которое  
вытекло, ДК = V2-V] = K0[(l + fit)- (l + p/)] = V0t(/3' - fi).

По условию

*AV*

*К*

0,06, тогда (/?' - fd)t - 0.06 , откуда

0,06

-4 тл-1

+ Р - 6,3-10\* к

1. Какую относительную ошибку мы допустим при нахож-  
   дении коэффициента объемного расширения масла в условиях  
   предыдущей задачи, если пренебрежем расширением стекла?

**Решение:**

Коэффициент объемного расширения масла с учетом  
расширения стекла (см. задачу 7.30) /?' = 6,3-10”4 К"1. Если  
не учитывать расширения стекла, то количество масла,  
которое вытекло, AV = V2 - V0 = V0 где

j?0 - коэффициент объемного расширения масла без учета  
расширения стекла. Тогда AV/V = Д/ = 0.06, тогда

Д = = 6 • 10'4 К-1. Отсюда относительная ошибка

х=£ = 0.05-100% = 5% .

Р

1. Температура помещения t = 31°C, атмосферное дав-  
   ление р0 = 101,ЗкПа. Какое давление р покажет ртутный баро-  
   метр, находящийся в этом помещении? Коэффициент объемного  
   расширения ртути р = 1,82-10"4 К-1. Расширением стекла прене-  
   бречь.

Т. к. температура в помещении постоянна, то по закону  
Бойля — Мариотта pV0 = p0V, где V = K0(l + pt) — фак-  
тический объем ртути в барометре. Тогда pV0=pbl  
x(l + /?f), откуда р- p0(l+ /?/) = !02 idla.

1. Какую силу F нужно приложить к горизонтальному  
   алюминиевому кольцу высотой И- 10мм, внутренним диамет-  
   ром с/, =50 мм и внешним диаметром =52 мм, чтобы отор-  
   вать его от поверхности воды? Какую часть найденной силы со-  
   ставляет сила поверхностного натяжения?

Решение:

Будем считать, что кольцо касается воды только своей  
нижней поверхностью, не погружаясь. Сила, необходимая  
для отрыва кольца от поверхности воды F = FX+F2, ; де  
Fx — сила тяжести, F2 — сила поверхностного на я-  
жения. F{ = ph~{d] -dx^g = 40мН. При отрыве кольца

водяная пленка разрывается по внутренней — cU и  
внешней — dx сторонам кольца, /ф = na(dx + d2) = 23.5 м Н.

Отсюда F = 63.5 мН и — = 31% .

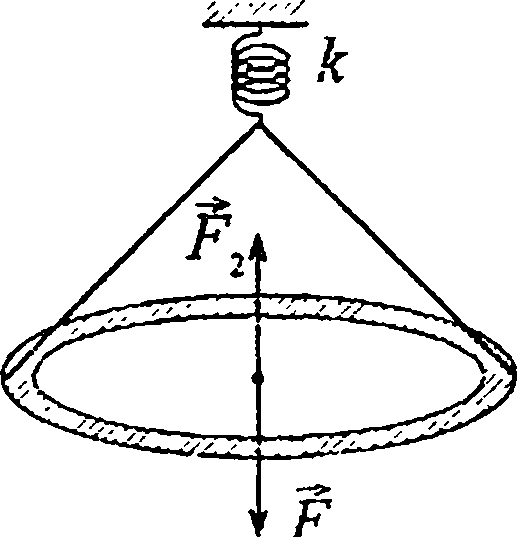
*F*

1. Кольцо внутренним диаметром dx-25 мм и внешним  
   диаметром d2 = 26 мм подвешено на пружине и соприкасаетс: с  
   поверхностью жидкости. Жесткость пружины к = 9,8 • 1СГ11 i ч.  
   При опускании поверхности жидкости кольцо оторвалось о г ::ее  
   при растяжении пружины на А/= 5,3 мм. Найти поверхность ^

натяжение а жидкости.  
364

Сила поверхностного натяжения Fxжидкости уравновешивается силой  
упругости пружины F2. Чтобы система  
находилась в равновесии, необходимо  
чтобы Fx + F2 = 0 или F]=F2. По закону  
Гука F2 = kAl. При отрыве кольца  
поверхностная пленка разрывается по внешней и  
внутренней поверхности кольца. Поэтому сила  
поверхностного натяжения будет складываться из двух  
~F\\ + Fn, где FH = аЦ и F2 = аЬ2. Т.к. Lx-ndx и  
Lj = Jrd2, то Fx = mz{dx + d2); kAl = na{clx + d2), отсюда

kAl ЛЛ.^Т1,



ft =—у г = 0,032 Н/м.

n[dx + d,)

1. Рамка A BCD с подвижной медной перекладиной FZ,  
   затянута мыльной пленкой. Каков должен быть диаметр d  
   перекладины KL, чтобы она находилась в равновесии? Найти  
   длину / перекладины, если известно, что при перемещении  
   Перекладины на Ah = 1 см совершается изотермическая работа  
   Л = 45мкДж. Поверхностное натяжение мыльного раствора  
   ft = 0,045 Н/м.

Решение:

Сила тяжести уравновешивается силой  
поверхностного натяжения. Чтобы пере- В  
ютадина находилась в равновесии, необхо-  
димо, чтобы mg + F = 0 или F = mg . Т.к.

|  |  |
| --- | --- |
| 1, |  |
|  | ' Щ/ |
| i mg | |

К

1У т/ *7id2 7id2lpg*

т = pV и V- /, то F . С

*н 4* 4 *^*

другой стороны, F = 2al (т. к. у пленки

две стороны). Отсюда 2al =

*xd-lpg* \_

; *d2 =*

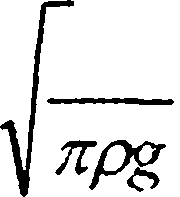
8 *la* 8 *a*

*ripg Xpg*365

= 1.2 мм. Работа по перемещению перекладину

А = 2ocS (т.к. у пленки две стороны). Т.к. S = lAh, т о  
А

8 а



А - led Ah; / = = 5 см.

*2aAh*

1. Спирт по каплям вытекает из сосуда через вер-  
   тикальную трубку внутренним диаметром </ = 2мм. Капли ск-  
   рываются через время Лг = 1с одна после другой. Через каксе  
   время т вытечет масса m = 10 г спирта? Диаметр шейки капли, з  
   момент отрыва считать равным внутреннему диаметру трубки.

Решение:

Чтобы капля оторвалась от поверхности, необходимо  
разорвать поверхностную пенку длиной / = 2л?\*, где г —  
радиус шейки капли, силой тяжести Р = Ijrra - тЗа .  
В массе спирта содержится N капель, причем  
mg mg

N = —^ = —— = 780 капель. Т.к. по условию капли отоь>  
Р nda

ваются с промежутком в Дг = 1с, значит, общее время  
т = NAt = 780с=13мин.

1. Вода по каплям вытекает из сосуда через вертикальную  
   трубку внутренним диаметром d - 3 мм. При остывании воды от  
   г, =100° С до /,=20° С масса каждой капли изменилась на  
   Ат = 13,5 мг. Зная поверхностное натяжение аг воды при  
   (2 = 20° С, найти поверхностное натяжение а, воды при  
   /,=100° С. Диаметр шейки капли в момент отрыва считаю  
   равным внутреннему диаметру трубки.

Решение:

Сила тяжести, действующая на каплю, в момент ее отры \*а  
должна разорвать поверхностную пленку по длю е  
/ = 2л7\* = nd , т.к. по условию диаметр шейки капли равен  
внутреннему диаметру трубки. Тогда начальная си ia  
366

тяжести р0 = 7tda2 • При остывании капли сила тяжести  
изменится на Ар = Л mg и станет равной р = р0 - р =  
= nda2 - Amg . С другой стороны, р - 7tda{, тогда

jvdax = тЗа{ - Amg, откуда ofj = = 0,059 Н/м.

*nd*

1. При плавлении нижнего конца вертикально подве-  
   шенной свинцовой проволоки диаметром d = 1 мм образовалось  
   N = 20 капель свинца. На сколько укоротилась проволока?  
   Поверхностное натяжение жидкого свинца а = 0,47 Н/м. Диа-  
   метр шейки капли в момент отрыва считать равным диаметру  
   проволоки.

Решение:

Капля отрывается от проволоки, когда сила тяжести равна  
силе поверхностного натяжения, т. е. mg = F. Масса капли  
т = pVK . Сила поверхностного натяжения F = al, где  
l-Ttd, откуда F -паЛ . Отсюда объем капли VK = ——.

Полный объем расплавленного свинца К = с

*Р*

ж/" *7sd" nNad*

другой стороны, К = А/. Тогда А/ = . отсю-

4 4 р

*4Na*

*Pgd*

да А/ =

— 34 см.

1. Вода по каплям вытекает из вертикальной трубки внут-  
   ренним радиусом г = 1 мм. Найш радиус R капли в момент  
   отрыва. Каплю считать сферической. Диаметр шейки капли в  
   момент отрыва считать равным внутреннему диаметру трубки.

Решение:

Сила тяжести, необходимая для отрыва капли (см. задачу  
7.37) р = 2яга . С другой стороны, сила тяжести р = mg,

где т = pV — масса оторвавшейся капли. Т.к. по ус: )ЗИ}^

4 , 4

капля сферическая, то V-—ttR , тогда 2яга - —■'

„з 3 га \_ 3 га

откуда к =-— или 7? = з|-—-2,2 мм.

*\*Pg*

*ipg*

1. На сколько нагреется капля рту г и, получен;-.ч 0тслияния двух капель радиусом /\* = 1 мм каждая?

Решение:

При слиянии двух капель ртути выделяется э;. тия  
AW = aAS, где изменение площади повер: • хти

AS = 4л7\*2 • 2 - AttR1 . Радиус большой капли R нжщем,  
приравняв объем большой капли сумме объемов сяи-

вшихся капель, т.е. 2- = —^— , откуда R = гЦ2 . Ъгда

1. 3

AS = 4л7\*2(2-V?) и AW = а-4л7-2(2-\Д) — (1). 3-г счет  
выделенной энергии произойдет нагревание ртутной кап-

4 8

ли, тогда *AW =спАТ-ср—nR^AT-cp—лгъАТ*

3 ' 3

Приравнивая (1) и (2), найдем АТ = =

*ср2г*

1,65-И

(2).

4 К.

1. Какую работу' А против сил поверхностного натяжения  
   надо совершить, чтобы разделить сферическую каплю ртути  
   радиусом R = 3 мм на две одинаковые капли?

Решение:

Т. к. капля разрывается на две одинаковые, то площадь  
AS, по которой произойдет разрыв, будет равна площади

круга, проходящего через центр капли, т. е. AS - zR2.  
Тогда работа против сил поверхностного натяжения

*А* = *aAS = аттЕ2 -*14,7 мкДж.