откуда

$$\frac{dT}{dp}=\frac{(v_п - v_ж)\,T}{r_к}, \qquad (14.30)$$

где $v_ж$ и $v_п$ — удельные объемы жидкости и пара при температуре кипения $T$.

Поскольку $v_п > v_ж$ и $r > 0$, то из (14.30) следует, что $\frac{dT}{dp} > 0$, т. е. температура кипения возрастает при увеличении давления. Так, например, при давлениях $p > 1{,}25 \cdot 10^7$ Па воду можно нагреть до такой температуры, что в ней будет плавиться свинец ($t_{пл} = 327°$ С), а кипения воды все еще не будет. Если давление в таком сосуде с сильно нагретой жидкостью уменьшить, то происходит бурное кипение жидкости. При этом выделяется столь большое количество пара, что его давление почти мгновенно возрастает до огромных величин и может вызвать разрушение сосуда. Это обстоятельство нужно учитывать при эксплуатации котельных установок.

Интересен следующий опыт, демонстрирующий кипение воды при пониженном давлении. В эксикаторе, на дно которого налито немного серной кислоты, поглощающей водяные пары, устанавливают на проволочной подставке часовое стекло с небольшим количеством воды. При откачивании из эксикатора воздуха вода на часовом стекле закипает при комнатной температуре. Затем на ее поверхности образуется ледяная корка, так как вода отдает теплоту, необходимую для кипения. Кипение продолжается до тех пор, пока вся вода на часовом стекле не замерзнет.

### Вопросы для повторения

1. В чем особенность теплового движения частиц жидкости?
2. В чем состоит дырочная теория строения жидкости?
3. Каковы причины особых свойств поверхностного слоя жидкостей?
4. Выведите формулу Лапласа.
5. Объясните капиллярные явления в жидкостях.

### Примеры решения задач

**Задача 14.1.** Капля ртути массой $2{,}72 \cdot 10^{-3}$ кг введена между параллельными стеклянными пластинками. Какую силу следует приложить для того, чтобы расплющить каплю до толщины в 0,1 мм? Коэффициент поверхностного натяжения ртути 0,5 Н/м. Считать, что ртуть абсолютно не смачивает стекло.

Дано

$M = 2{,}72 \cdot 10^{-3}$ кг,
$\delta = 10^{-4}$ м,
$\alpha = 0{,}5$ Н/м;
из таблиц:
$\rho = 1{,}36 \cdot 10^4$ кг/м³

$F$ — ?

Решение

Сдавленная капля ртути имеет вид очень тонкого диска с выпуклой боковой поверхностью. Дополнительное давление $\Delta p$, возникающее вследствие кривизны поверхности, уравновешивает внешнее давление, производимое силой $F$:

$$\Delta p = \frac{F}{S}. \qquad (a)$$

Здесь $S$ — площадь соприкосновения капли ртути с пластинкой:

$$S = \frac{V}{\delta} = \frac{M}{\rho\delta},$$

где $V$ — объем капли ртути, $M$ — ее масса и $\rho$ — плотность. С другой стороны, $S = \pi R^2$, где $R$ — радиус диска Поэтому

$$R = \sqrt{\frac{M}{\pi\rho\delta}}.$$

Давление $\Delta p$ найдем по формуле (14.15):

$$\Delta p = \alpha\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right),$$

где $r = \delta/2$

Подставив значения $R$ и $S$ в формулу (а), получим

$$F = \frac{M\alpha}{\rho\delta}\left[\sqrt{\frac{\pi\rho\delta}{M}} + \frac{2}{\delta}\right]$$

Вычисления производим в Международной системе единиц (СИ):

$$F = \frac{2{,}72\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}5}{1{,}36\cdot 10^{4}\cdot 10^{-4}}\left[\sqrt{\frac{3{,}14\quad 1{,}36\cdot 10^{4}\cdot 10^{-4}}{2{,}72\cdot 10^{-3}}} + \frac{2}{10^{-4}}\right]\ \text{Н} = 20\ \text{Н}$$

**Задача 14.2.** На дне цилиндрического сосуда, наполненного до высоты 39 см глицерином плотностью 1,26 г/см$^3$, удерживают деревянный шарик радиусом 2,5 мм. Сколько времени будет всплывать на поверхность отпущенный шарик, если считать, что на протяжении всего пути он движется равномерно? Плотность дерева принять равной 0,4 г/см$^3$, а коэффициент вязкости глицерина 0,3 Па • с.

Дано

$h = 0{,}39$ м,
$d = 5\quad 10^{-3}$ м,
$\rho_1 = 1{,}26\cdot 10^3$ кг/м$^3$,
$\rho_2 = 400$ кг/м$^3$,
$\eta = 0{,}3$ Па  с

$\tau$—?

Решение

На шарик, движущийся в жидкости, действуют следующие силы сила тяжести $\mathbf{P}$, направленная вниз и численно равная

$$P = \frac{4}{3}\pi r^3\rho_2 g,$$

сила сопротивления $\mathbf{F}_1$, направленная вниз (в сторону, противоположную движению шарика) и численно равная по формуле (14 4)

$$F_1 = 6\pi\eta r u,$$

и выталкивающая сила $\mathbf{F}_2$, направленная вверх и численно равная весу жидкости в объеме тела

$$F_2 = \frac{4}{3}\ r^3\rho_1 g.$$

При равномерном движении шарика

$$\mathbf{P} + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 0$$

Проектируя все векторы на направление вектора — **P**, получаем

$$-\frac{4}{3}\pi r^3\rho_2 g - 6\pi\eta r u + \frac{4}{3}\pi r^3\rho_1 g = 0.$$

Заменив в этом уравиении скорость $u$ равномерного движения шари формуле $u = h/\tau$ и радиус $r = d/2$, получим

$$\tau = \frac{18\eta h}{d^2 g(\rho_1 - \rho_2)}.$$

Вычисления производим в Международиой системе единиц (СИ):

$$\tau = \frac{18 \cdot 0,3 \cdot 0,39}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81\,(1,26 - 0,4) \cdot 10^3}\ \text{с} = 10\ \text{с}.$$