

Задача 10-1

Закон Рауля

В конце 19-го века французский химик Рауль, изучая растворы нелетучих веществ в летучих растворителях, обнаружил, что давление пара растворителя над раствором пропорционально содержанию растворителя:

$$P = xP^*.$$

В этой формуле P – давление пара растворителя над раствором, x – мольная доля растворителя, P^* – давление пара чистого растворителя при данной температуре. Если оба компонента раствора летучи, то закон Рауля выполняется для каждого компонента:

$$P_1 = x_1P_1^*,$$

$$P_2 = x_2P_2^*.$$

Растворы, для которых закон Рауля выполняется во всём интервале составов, называют идеальными.

1. Этанол и пропанол при смешении образуют практически идеальные растворы. При 50 °С общее давление пара над раствором, состоящим из 3 моль этанола и 2 моль пропанола, составляет 168 Торр. При добавлении к этому раствору 1 моль пропанола общее давление пара над раствором уменьшается на 13 Торр.

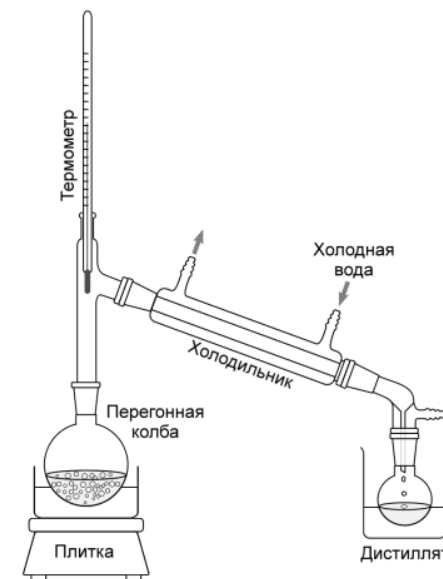
Рассчитайте давления пара чистых этанола и пропанола при этой температуре.

2. Из закона Рауля следует, что состав пара над раствором не совпадает с составом раствора.

Рассчитайте состав пара (в мольных долях) над исходным раствором из пункта 1. Пар над раствором считайте идеальным газом.

3. Различие составов раствора и равновесного с ним пара позволяет разделять летучие компоненты раствора с помощью перегонки (дистилляции). На рисунке представлена схема простого прибора для перегонки.

Раствор, состоящий из 1 моль этанола и 1 моль пропанола, подвергали перегонке при нормальном атмосферном давлении до тех пор, пока температура кипения раствора не возросла до 90 °С. При этом часть раствора отогналась из перегонной колбы и образовала



дистиллят. Давление пара над дистиллятом при 90 °С составляет 1060 Торр. Давления пара чистых этанола и пропанола при 90 °С равны 1180 Торр и 580 Торр соответственно.

- Рассчитайте состав (в мольных долях) оставшегося в перегонной колбе раствора, который кипит при 90 °С.
- Рассчитайте состав (в мольных долях) полученного дистиллята.
- Рассчитайте количества этанола и пропанола в дистилляте.

Дополнительные сведения

1 атм = 760 мм рт. ст. = 760 Торр.

Жидкость кипит, когда давление пара над ней равно атмосферному.

Закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме давлений компонентов.

Мольная доля вещества в смеси – отношение количества данного вещества к общему количеству веществ в смеси.

Решение задачи 10-1 (автор: Каргов С.И.)

1. Мольные доли этанола и пропанола в исходном растворе были равны 0.6 и 0.4, а после добавления пропанола стали равны 0.5 и 0.5.

Обозначим давление пара чистого этанола вещества P_1^* , а пропанола – P_2^* .

Применяя закон Рауля к двум растворам, получим систему уравнений:

$$0.6P_1^* + 0.4P_2^* = 168$$

$$0.5P_1^* + 0.5P_2^* = 155$$

откуда $P_1^* = 220$ Торр, $P_2^* = 90$ Торр.

2. Давление пара этанола над раствором равно

$$P_1 = x_1 P_1^* = 0.6 \cdot 220 = 132 \text{ Торр.}$$

Тогда мольные доли этанола и пропанола в паре равны

$$x_1 = \frac{P_1}{P} = \frac{132}{168} = 0.786,$$

$$x_2 = 1 - x_1 = 1 - 0.786 = 0.214.$$

3. а). Раствор кипит, когда давление паров над ним равно атмосферному давлению, то есть

$$P = P_1 + P_2 = P_1^* x_1 + P_2^* x_2 = P_1^* x_1 + P_2^* (1 - x_1) = 760,$$

или

$$1180x_1 + 580(1 - x_1) = 760,$$

откуда $x_1 = 0.3$. Следовательно, мольная доля этанола в оставшемся после перегонки растворе равна 0.3, а мольная доля пропанола $x_2 = 1 - x_1 = 0.7$.

б) Давление пара над дистиллятом равно 1060 Торр, то есть

$$1180x_1 + 580(1 - x_1) = 1060,$$

откуда $x_1 = 0.8$. Следовательно, мольная доля этанола в дистилляте равна 0.8, а мольная доля пропанола $x_2 = 1 - x_1 = 0.2$.

в) Пусть количество этанола в дистилляте равно x моль, а пропанола – y моль.

Тогда мольная доля этанола в оставшемся растворе равна

$$\frac{1-x}{2-x-y} = 0.3,$$

а мольная доля этанола в дистилляте равна

$$\frac{x}{x+y} = 0.8.$$

Решая полученную систему, получаем $x = 0.64$, $y = 0.16$.

Таким образом, в дистилляте содержится 0.64 моль этанола и 0.16 моль пропанола.

Система оценивания

1.	За правильный расчёт давлений пара чистых этанола и пропанола	3 балла
2.	За правильный расчёт мольных долей этанола и пропанола в паре	3 балла
3.	а). За правильный расчёт мольных долей этанола и пропанола в оставшемся после перегонки растворе – 2 балла , б). За правильный расчёт мольных долей этанола и пропанола в дистилляте – 2 балла , в). За правильный расчёт количеств этанола и пропанола в дистилляте – 5 баллов	9 баллов
	ИТОГО:	15 баллов