

ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ГОМОГЕННОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Шингарев Д.С., Бобцова Е.А.

Научный руководитель – Скапцов А.С., к.ф.-м.н., доцент
Могилевский государственный университет продовольствия
г. Могилев, Республика Беларусь

Рассмотрим случай, когда в процессе образования частица радиусом r приобрела некоторый электрический заряд q , равномерно распределенный по ее поверхности. Заряд стремится разъединить молекулы в частице, увеличить ее поверхность и понизить давление пара, в то время как действие сил поверхностного натяжения противоположно. Изменение термодинамического потенциала Гиббса при образовании заряженной частицы описывается выражением:

$$\Delta G = -\frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\Delta \mu}{\Omega} + 4 \pi r^2 \sigma - \frac{q^2}{2r \epsilon}, \quad (1)$$

где $\Delta \mu = kT \ln S$ - изменение химического потенциала; $\Omega = \frac{M}{N_A \rho}$ - удельный

объем в расчете на одну молекулу; ρ - плотность вещества в жидком состоянии при температуре T , S - пересыщение пара; M - молярная масса вещества; N_A - число Авогадро; k - постоянная Больцмана; σ - коэффициент поверхностного натяжения; ϵ - диэлектрическая проницаемость пара.

Уравнение Кельвина в этом случае приобретает вид:

$$\ln S = \frac{M}{\rho RT} \left[\frac{2\sigma}{r} - \frac{q^2}{8\pi r^4 \epsilon} \right]. \quad (2)$$

Если частица несет на себе не более одного элементарного заряда, что наиболее вероятно для частиц такого размера, то формула (2) принимает форму:

$$\ln S = \frac{M}{\rho RT} \left[\frac{2\sigma}{r} - \frac{q^2}{8\pi r^4} \left(\frac{1}{\epsilon} - \frac{1}{\epsilon_{ж}} \right) \right], \quad (3)$$

где $\epsilon_{ж}$ - диэлектрическая проницаемость вещества в жидком состоянии. Следует заметить, что величины ϵ и $\epsilon_{ж}$ могут существенно отличаться от значений, свойственных большим объемам жидкости и пара. В этом случае зависимость пересыщения от размера частиц имеет максимум при размере зародышей

$$r^* = \left[\frac{q^2}{4\pi\sigma} \left(\frac{1}{\epsilon} - \frac{1}{\epsilon_{ж}} \right) \right]^{1/3}. \quad (4)$$

Таким образом, наличие электрических зарядов в пересыщенном паре снижает величину пересыщения, необходимую для гомогенной конденсации паров и образования зародышей.

Оценки, выполненные для чистой воды, показывают, что при температуре $T=273$ К и пересыщении $S=2$ радиус критического зародыша составляет $r^*=1,7$ нм, а при $S=3$ - $r^*=1,1$ нм. При увеличении температуры до 298 К в первом случае $r^*=1,5$ нм, а во втором $r^*=0,95$ нм. Наличие элементарного заряда на частице снижает величину пересыщения приблизительно в 1,3 раза.