

**Общие законы преодоления энергетического барьера:****«сухое» обледенение и тепловой взрыв**И.А. Амелюшкин<sup>1</sup>, А.Л. Стасенко<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

Десятки лет назад была подмечена [1] общность процессов, сопровождающихся преодолением барьера между двумя состояниями вещества, например, при термоядерных превращениях, электрических и оптических разрядах, образовании твердых растворов, спекании порошков металлов.

В настоящей работе предлагается отнести к подобным явлениям обледенение твердого тела в переохлажденном воздушно-капельном потоке, сопровождающееся «мгновенным» примерзанием метастабильной частицы к поверхности и происходящим при достаточно низких температурах (меньших, чем  $-15$  до  $-20$  °С).

Описание скорости распространения волн для всех перечисленных процессов содержит, прежде всего, значение энергетического барьера  $L_b$  [Дж/кг], характерную температуру (в качестве которой можно принять температуру замерзания  $T_f = 273$  К), начальную температуру  $T_0$  и температуропроводность  $\chi = \lambda/\rho C_p$  вещества в метастабильном состоянии.

Скорость распространения волн кристаллизации в переохлажденной жидкости можно описать следующим (достаточно общим для упомянутых выше процессов) соотношением

$$u^2 = \frac{\lambda}{\rho C_p} \left( \frac{T_0}{T_f} \right)^m Z \cdot \exp \left( - \frac{L_b}{RT_0} \right) \left[ \left( \frac{RT_f}{L_b} \right) \left( \frac{T_f - T_0}{T_f} \right) \right]^{m+1}$$

где  $m$  в случае газофазной реакции представляет ее порядок. В случае переохлажденной воды для определения  $m$ , высоты барьера  $L_b$ , предэкспоненциального множителя в соотношении Аррениуса потребовалось бы провести сложные квантово-механические исследования. В настоящей работе эти величины определены экспериментально. Для определения трех перечисленных величин, в принципе, необходимо и достаточно трех измерений для трех различных значений температуры  $T_0$ ; остальные измерения можно считать контрольными. При помощи обработки

экспериментальных результатов получена следующая зависимость скорости движения фронта кристаллизации температур:  $u \cong 0.04 \cdot \sqrt{T_f - T_0}$ .

Кроме того, в настоящей работе обнаружен эффект возникновения накопления кинетической энергии внешнего воздействия на переохлажденную жидкость. Экспериментально обнаружены потенциальные барьеры энергии межмолекулярного взаимодействия, которые можно преодолеть многократным механическим воздействием. Таким образом, кристаллизация может зародиться при многократных воздействиях, каждого отдельного из которых недостаточно для возникновения цепной реакции превращения жидкости в лед.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-01-00766.

### Литература:

1. Мержанов А.Г., Руманов Э.Н. Тепловые процессы типа горения в физике // препринт ИХФ АН СССР. Черноголовка. – 1975. – 21 с.

2. Amelyushkin I.A., Stasenko A.L. Dynamics of molecules in a supercooled water nanoparticle during the ice accretion on the aircraft surface // Progress in flight physics. – V. 7. – М.: TORUS PRESS. – 2015. – P. 3–20.

3. Amelyushkin I.A. Visualization and simulation of physical phenomena in aircraft icing process // Proceedings from the 10<sup>th</sup> Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP10) – 15<sup>th</sup>–18<sup>th</sup> June 2015. – Naples – Italy. – On Flash card: Multiphase Flow/Droplets. – Paper ID-187.

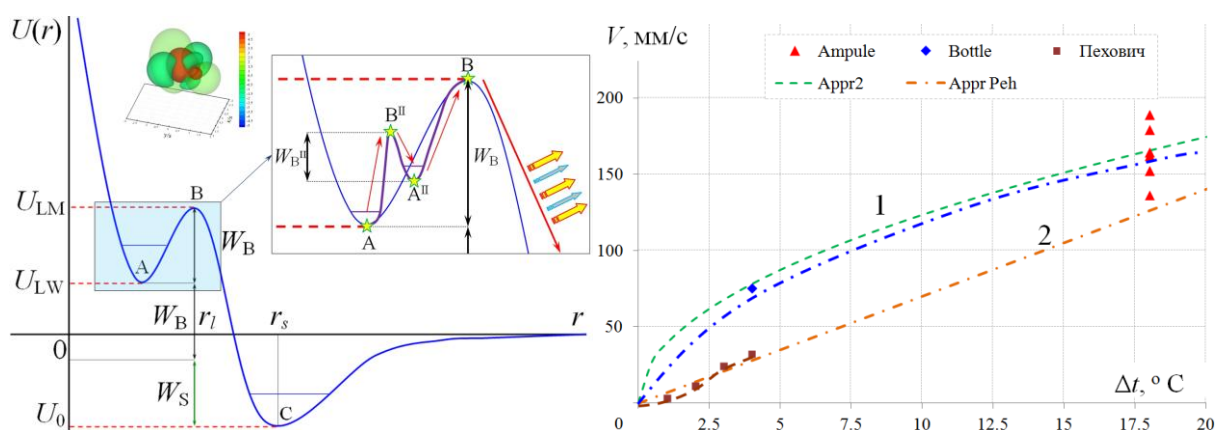


Рис. 1. Слева: немонотонность потенциала межмолекулярного взаимодействия; справа: зависимость скорости фронта кристаллизации от степени переохлаждения.