

## "Три звезды героя не дают зря!"

Г.И. Баренблатт

Высказывание Л.В. Келдыша о работе Якова Борисовича Зельдовича над Атомным проектом, которое мне привели в редакции журнала "Успехи физических наук": "Три звезды не дают зря!", — заставило меня задуматься.

Трудно сказать лучше! Постараюсь проиллюстрировать эту мысль одним примером, хорошо мне известным. Хотя этот пример и не связан с бомбой, но он тоже связан с важными приложениями.

Речь идёт об "эффекте Томса", открытом во время Второй мировой войны. Добавление ничтожных (несколько миллионных долей) высокомолекулярных соединений (например, окиси полиэтилена) к воде, не меняя ни вязкости, ни плотности воды, приводило к сильному снижению гидродинамического сопротивления в турбулентном режиме, иногда на порядок.

Явление привлекло внимание в начале 1960-х годов (я тогда работал в Университете — МГУ), так, что среди тем моей небольшой группы, я выбрал, в частности, эту, — в чём тут дело?! Довольно быстро я пришёл к предположению, что добавление полимера превращает воду в коллоидный, а не истинный раствор. Молекулы полимера присоединяют к себе молекулы растворителя (воды), так что образуются надмолекулярные частицы, обладающие свойствами вязкоупругости. В ламинарном потоке частицы деформируются медленно и свойства упругости не проявляются. В турбулентном потоке частицы деформируются быстро, их упругость проявляется, и на упругие деформации в жидкости расходуется часть энергии турбулентности.

Естественно, от меня тут же потребовали доказательство, что такие надмолекулярные структуры образуются. Мы сидели в размышлении, и в это время зашёл ЯБ — он часто меня навещал.

"Над чем думаете?" Я рассказал. "У Вас есть тонкий фильтр?" Фильтр нашёлся. "Пропустите через него воду!" — пропустили, вода мгновенно прошла. "Добавьте полимер!" Добавили в ничтожном количестве, перемешали. "Теперь попробуйте пропустить через фильтр!" Воде не прошла совсем. "Теперь измерьте вязкость раствора в обычном вискозиметре с широким зазором!" Измерили, никакой разницы с вязкостью воды. Фильтр был мелкий, по-видимому, образовались надмолекулярные частицы с размерами порядка пор (см. статью [1]).

А упругость? Мой ученик А.М. Кудин, сейчас, к моему горю, неожиданно умерший, предложил и осуществил такой опыт: высокоскоростная струя воды была направлена на металлическую пластину. В течение часа — никакого эффекта. Добавление в воду полимера в тех же ничтожных количествах привело к образованию дырок в пластине менее чем за минуту или около того. Отнесли металлургам. Они диагностировали — адгезионное разрушение, — как в смеси воды с песком. Ясно, что адгезионное разрушение было сделано как бы отвердевшими частицами: вязкоупругие надмолекулярные структуры при больших скоростях деформации как бы затвердевали (см. статью [2]).

Но для полного доказательства поведения надмолекулярных структур в турбулентном потоке их надо было увидеть. И это сделали, независимо от наших работ, американские исследователи путём высокоскоростной микрофотографии турбулентного потока с вязкоупругими надмолекулярными структурами: "кувыркание" и "изгибание" частиц было продемонстрировано. На это "кувыркание" и "изгибание" затрачивается часть турбулентной энергии (см. статьи [3,4]). После этого сделать математическую модель явления не составляло труда (см. статью [5]).

ЯБ провёл у нас не более получаса и ушёл по своим делам. Но его вклад в модель был чрезвычайно важен. Я могу только представить себе, что в деле такого масштаба, как то, что они делали в Сарове, подобные ситуации, помимо основной проблематики, возникали постоянно.

Такая личность в настоящем большом деле — сердце и мозг! И по справедливости звёзды дают сердцу и мозгу!

Список литературы:

1. Barenblatt G.I., Bulina I.G., Zeldovich Ya. B., Kalashnikov V.N., Sholomovich G.I. *J. Applied Mechanics and Technical Physics* **5** (5) 103-104 (1965)
2. Kudin A.M., Barenblatt G.I., Kalashnikov V.N., Vlasov S.A., Belokon' V.S. *Nature Physical Science* **245** (145) 95-96 (1973)
3. Teixeira R.E., Babcock H.P., Shaqfeh E.S.G., Chu S. *Macromolecules* **38** 581 (2005)
4. Teixeira R.E., Dawbel A.K., Richter D.H., Shaqfeh E.S.G., Chu S. *Macromolecules* **40** 2461 (2007)
5. Barenblatt G.I. *Physics of Fluids* **20** 091702-1 — 091702-4 (2008)