

О СТРУКТУРЕ ЗОНЫ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Мешков Е.Е.

СарФТИ НИЯУ МИФИ, Саров, РФ

Развитие неустойчивости Рэлея-Тейлора (РТ) приводит к образованию и развитию зоны турбулентного перемешивания (ЗТП). Вместе с тем результаты экспериментов [1,2] указывают на тот факт, что одновременно с развитием турбулентности в ЗТП присутствует ламинарная составляющая. Это выражается в перманентном существовании скачка концентрации более плотной среды (и, соответственно, плотности) на границе между более плотной средой и ЗТП, причем эта граница возмущена, но не турбулизована. Т.е. термин «зона турбулентного перемешивания» не является вполне адекватным и, в общем случае, если не искажает, то вуалирует суть явления.

К этому можно добавить, что развитие РТ-перемешивания сопровождается существованием и наращиванием со временем встречных потоков вещества – проникновением менее плотной среды в более плотную и более плотной в менее плотную – и эти потоки нарастают как t^2 .

В какой мере этот факт сочетается с турбулентностью?

В этой связи необходимо отметить два момента:

-для постоянного развития РТ перемешивания необходимо *постоянное* существование скачка на границе более плотная среда – ЗТП;
-структура ЗТП в случае РТ перемешивания в начальной стадии ее развития скорее всего будет сходной со структурой ЗТП в случае РМ перемешивания (неустойчивость Рихтмайера-Мешкова). Но со временем должны проявляться и нарастать различия, так как в случае РМ перемешивания (в отличие от РТ перемешивания) взаимопроникновение сред должно расти пропорционально $\sim t^{0,3}$ (в соответствии с ростом ширины зоны перемешивания).

Поверхность раздела сред разной плотности (контактная граница), ускоряемая в направлении, нормальном к поверхности, может быть устойчивой или неустойчивой в зависимости от направления ускорения и его характера. В случае устойчивости возмущение поверхности, в общем случае, колеблется, затухая со временем, а в случае неустойчивости растут по амплитуде, формируя зону перемешивания, в которой менее плотная среда «всплывает» в более плотной, а более плотная «тонет» в менее плотной. При этом течение в зоне перемешивания приобретает турбулентный характер.

В реальных случаях газодинамических течений, представляющих практический и/или научный интерес, например, в инерционном термоядерном синтезе или в астрофизике характер ускорения может меняться со временем в широких пределах: от постоянного до импульсного. В случае постоянного (или слабо меняющегося) ускорения контактная граница неустойчива в случае, когда ускорение направлено от менее плотной среды к более плотной (неустойчивость Рэлея-Тейлора [1,2]); в обратном случае она устойчива. В другом крайнем случае при импульсном характере ускорения (в частности, при ускорении (стационарной) ударной волной) контактная граница неустойчива независимо от направления ускорения (неустойчивость Рихтмайера-Мешкова [3,4]).

С 80-х годов XX века и до сих пор исследования этих неустойчивостей развиваются широким фронтом во всем мире. И вместе с тем несмотря на достигнутые успехи в этих исследованиях природа этих неустойчивостей остается неизученной до конца [5]. Одним из таких вопросов является вопрос об устройстве зоны перемешивания на неустойчивой контактной границе.

Для обозначения области взаимного проникновения более и менее плотных сред на контактной границе получил широкое распространение (и по сути стал общепринятым) термин «зона турбулентного перемешивания» (ЗТП)¹. Вместе с тем в ЗТП сочетаются черты хаоса и упорядоченного течения:

- 1) сочетание зон турбулентного и ламинарного течения [6];
- 2) наличие встречных потоков на неустойчивой границе [7];
- 3) самопроизвольное возникновение упорядоченных структур [8].

¹ С.Г.Зайцев с коллегами для этих целей использовали в своих работах термин «область контактного перемешивания».

1. Rayleigh Lord. Investigations of the character of the equilibrium of an incompressible heavy fluid of variable density. // Proc. London Math. Soc. 14, 1883, p.170-177
2. Taylor G.I. The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes. I. //Proc. Roy. Soc., v.A201, 1950, p.192.
3. Richtmyer R.D. (1960). Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids. Commun.Pure Appl.Math. V.13, 297
4. Мешков Е.Е. (1969). Неустойчивость границы раздела двух газов, ускоряемой ударной волной// Изв.АН СССР, МЖГ. N 5, 151-158
5. S.I.Anisimov, R.P.Drake, S.Gauthier, E.E.Meshkov, S.I.Abarzhi. What is certain and what is not so certain in our knowledge of Rayleigh-Taylor mixing. // Phil. Trans. R. Soc. A2013 371, 20130266
6. E.E.Meshkov. Some peculiar features of hydrodynamic instability development. // Phil. Trans. R. Soc. A2013 371, 20120288