



## Звуковая турбулентность: от спектров Захарова–Сагдеева до спектра Кадомцева–Петвиашвили

д.ф.-м.н., академик РАН Евгений Александрович Кузнецов<sup>1,3</sup>  
и Е.А. Кочурин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Сколковский институт науки и технологий, Москва;

<sup>2</sup> Институт электрофизики УРО РАН, Екатеринбург;

<sup>3</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Численно и аналитически исследована звуковая турбулентность в режимах слабой и сильной нелинейности. На основе прямого численного моделирования акустической турбулентности показано, что в рамках слабой нелинейности реализуется спектр Захарова–Сагдеева  $E(k) \propto k^{-3/2}$  не только для случая слабой дисперсии, но также в бездисперсионном пределе. Такие спектры в  $k$ -пространстве сопровождаются появлением струй в виде узких конусов. При слабой дисперсии струи сосредоточены в области малых  $k$ , при больших волновых числах распределение стремится к изотропному благодаря дисперсии. Спектр турбулентности как усредненное по углам распределение зависит от потока энергии по масштабам  $\propto \varepsilon^{1/2}$ , в полном соответствии с теорией слабой волновой турбулентности. В бездисперсионном пределе спектр турбулентности при малом уровне накачки представляет собой набор непересекающихся джетов. Для каждого такого джета дифракционные эффекты оказываются сильнее нелинейных, благодаря чему спектр звуковой турбулентности приобретает вид спектра Захарова–Сагдеева. Увеличение накачки в трехмерном случае в отсутствие дисперсии приводит к доминированию нелинейных эффектов, ответственных за формирование ударных волн. В результате акустическая турбулентность представляет собой ансамбль случайных ударных волн со спектром Кадомцева–Петвиашвили:  $E(k) \propto k^{-2}$ .

Переход от слабой турбулентности к сильной сопровождается изменением в структуре плотности распределения вероятностей для градиентов: от почти гауссова распределения к распределению со степенными хвостами.

Результаты опубликованы в статьях [1,2]. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-72-30028.

[1] Е.А. Кочурин, Е.А. Кузнецов, *Прямое численное моделирование акустической турбулентности: спектр Захарова–Сагдеева*, Письма ЖЭТФ **116**, 830–835 (2022), [JETP Letters **116**, 863–868 (2022)]; arXiv:2211.09430.

[2] Е.А. Kochurin, Е.А. Kuznetsov, *Three-Dimensional Acoustic Turbulence: Weak Versus Strong*, Phys. Rev. Lett., 5 pages (2024) (submitted); arXiv:2407.08352v1.