

Описан новый механизм самоорганизации частиц в пылевой плазме

Сотрудники Объединённого института высоких температур РАН совместно с коллегами из Московского физико-технического института продемонстрировали новый механизм самоорганизации и синхронизации частиц в неравновесной плазме с конденсированной дисперсной фазой. Результаты опубликованы в «[Журнале экспериментальной и теоретической физики](#)» (2026, том 169, вып.4)¹.

Исследователи экспериментально показали, что всего две заряженные пылевые частицы в газоразрядной плазме способны самостоятельно переходить к устойчивому согласованному вращению по замкнутым траекториям, причём вращение поддерживается только за счёт окружающей плазмы.

Суть эксперимента

В газоразрядной плазме была сформирована система из двух сферических пылевых частиц, левитирующих в электрическом поле разряда. При изменении параметров плазмы наблюдался переход от случайных колебаний к согласованному вращательному движению: частицы начинали двигаться по почти круговым траекториям, сохраняя устойчивый фазовый сдвиг друг относительно друга. Такое вращение поддерживается только за счёт окружающей плазмы, и не требует ни внешнего магнитного поля, ни эффекта «реактивного» движения за счёт неравномерного нагрева поверхности частиц: система сама «организует» устойчивое движение, используя внутренние плазменно-пылевые взаимодействия.

«Мы показали, что даже очень простая система, всего две пылевые частицы в плазме, могут самостоятельно переходить к упорядоченному вращательному движению без внешнего воздействия. В эксперименте мы наблюдали, как из случайных колебаний частицы начинают двигаться по почти круговым траекториям и синхронизируются друг с другом, сохраняя постоянный фазовый сдвиг. Это означает, что система сама «организует» устойчивое движение за счёт энергии, поступающей из окружающей плазмы», — рассказал Роман Сыроватка, кандидат физико-математических наук и старший научный сотрудник ОИВТ РАН.

Численное моделирование

Чтобы раскрыть физический механизм наблюдаемого эффекта, исследователи выполнили многомасштабные численные расчёты плазменно-пылевой системы с помощью разработанного ими открытого кода OpenDust. Моделирование воспроизвело устойчивое вращение пары пылевых частиц по квазикруговым орбитам как по форме траекторий, так и по характеру фазовой синхронизации.

«Анализ моделирования показал, что ключевую роль играет асимметрия эффективных взаимодействий между пылевыми частицами, возникающая из-за формирования за одной из них ионного следа — области избыточного положительного заряда в плазме. В сочетании с различной „жесткостью“ горизонтального удерживающего электрического поля для двух частиц эта асимметрия приводит к появлению крутящего момента и поддержанию

¹ Колотинский Д.А., Сыроватка Р.А., Воронов И.В., Лисин Е.А., Тимофеев А.В., Васильев М.М., Петров О.Ф. "Самоподдерживающаяся вращательная динамика пары пылевых частиц в потоке плазмы газового разряда" ЖЭТФ, Т. 169, вып. 4, с. 478-492 (2026)
https://jetp.ras.ru/cgi-bin/dn/r_169_0478.pdf

устойчивого вращения», — объяснил Даниил Колотинский, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ОИВТ РАН и МФТИ.

Научное значение

Полученные результаты демонстрируют новый механизм самоорганизации и синхронизации в пылевой плазме. Показано, что даже минимальная система из двух взаимодействующих пылевых частиц способна проявлять сложную коллективную динамику, которую обычно связывают с многочастичными ансамблями. Исследование относится к более широкому направлению работ о системах с несимметричными эффективными взаимодействиями — активной материи, коллоидных и биологических системах, где невзаимность может приводить к сложным нелинейным коллективным эффектам. Новые результаты расширяют представления о том, как в плазме с конденсированной фазой самопроизвольно возникают и поддерживаются коллективные динамические паттерны.

Возможное прикладное применение

Помимо фундаментального интереса, обнаруженный механизм может быть полезен для разработки способов управления движением микрочастиц в жидкостях, плазме и других сложных средах. В перспективе такие исследования могут помочь в создании технологий, где множество малых частиц должно двигаться согласованно, например для адресной доставки веществ в медицине, диагностики или работы в труднодоступных областях. Плазменно-пылевые эксперименты в этом случае могут служить удобной модельной системой, на которой изучают, как частицы самоорганизуются и начинают двигаться согласованно без внешнего централизованного управления.

Научная работа была выполнена учеными ОИВТ РАН, МФТИ и НИУ ВШЭ при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Фонда «БАЗИС» и Фонда Олега Дерипаска «Вольное дело».