

НОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЧИСЕЛ РЕЙНОЛЬДСА В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ МИССИИ PARKER SOLAR PROBE

Дуканов И. А.^{1,2}, Юшков Е. В.^{1,3}, Соколов Д. Д.^{1,2}, Фрик П. Г.⁴

dukanov.ia21@physics.msu.ru

1) МГУ им. М. В. Ломоносова, Физический факультет, г. Москва, Россия, 2) ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, 3) ИКИ РАН, г. Москва, Россия, 4) ИМСС УрО РАН, г. Пермь, Россия

Магнитное и кинетическое числа Рейнольдса (R_m , Re), являются параметрами подобия физических процессов, протекающих в магнитогидродинамических (МГД) системах [1]. Они характеризуют взаимоотношение между диссипацией и нелинейными эффектами течения, определяя развитие турбулентного каскада, длину инерционного интервала турбулентного спектра, скорость диссипации. Задача реконструкции чисел Рейнольдса по спектральным или корреляционным характеристикам процесса признана классической задачей астрофизики и, в частности, физики солнечного ветра. Тем не менее для плазмы солнечного ветра вопрос оценки чисел Рейнольдса выглядит весьма проблематично, потому что, с одной стороны, существует множество работ, в которых эти числа уже анализировались, см., например, обзор [2], с другой стороны, разброс существующих оценок покрывает при этом много порядков, а это, в свою очередь, наводит на мысль, о проблеме используемых для оценок методов.

Самым распространенным методом оценки чисел Рейнольдса является опосредованный способ, основанный на связи корреляционного и Тейлоровского масштаба. Заметим, что далее мы будем говорить преимущественно не о числах, а о числе Рейнольдса, предполагая в рамках доклада равенство Re и R_m , то есть близость к единице магнитного числа Прандтля (что является разумным и в контексте солнечного ветра [3]). Тейлоровский масштаб, определяющий интенсивность диссипации энергии, вычисляется обычно по автокорреляционной функции флуктуирующего магнитного поля методом Ричардсона, широко известным в литературе. Подход Ричардсона, помогая преодолеть инструментальные ограничения, подразумевает экстраполяцию автокорреляционной функции в область идеального приборного разрешения, то есть в область чрезмерно малых масштабов. Основная проблема состоит в том, что в существующих спутниковых миссиях, разрешающая способность всех магнитометров недостаточна для однозначного определения Тейлоровского масштаба – это и является причиной настолько сильной ошибки в оценке Re и R_m .

В докладе мы показываем тонкие моменты приложения этого метода, а также предлагаем возможные решения с помощью так называемого каскадного (оболочечного) МГД-моделирования [4] на численно рассчитанной эволюции спектров солнечного ветра из начальных данных, собранных вблизи Солнца спутниковой миссией Parker Solar Probe, см., например, [5]. Демонстрируя недостатки метода Ричардсона, мы предлагаем новый метод оценки, основанный на взаимосвязи этих чисел с расположением точки перегиба корреляционной функции. Используя этот метод, мы применяем его затем к реальным данным и даем пусть и грубую, но первую существенно уточненную оценку чисел Рейнольдса в солнечном ветре, и проводим сравнение с существующими ранее оценками.

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. – Гостехиздат, 1957.
2. Wrench D. et al. What is the Reynolds Number of the Solar Wind? – The Astrophysical Journal. – 2024. – Т. 961. – №. 2. – С. 182.
3. Pérez-de-Tejada H. Empirical values of the transport coefficients of the solar wind: Conditions in the Venus ionosheath – The Astrophysical Journal. – 2004. – Т. 618. – №. 2. – С. L145.

4. Abushzada I. et al. Turbulent dynamo in the shell model and the Kazantsev-Kraichnan approach – *Physical Review E*. – 2025. – T. 112. – №. 1. – C. 015104.
5. Raouafi N. E. et al. Parker solar probe: Four years of discoveries at solar cycle minimum – *Space Science Reviews*. – 2023. – T. 219. – №. 1. – C. 8.