

## Параметрический резонанс в моделях звездного и планетарного динамо

Динамо-модели звездного и планетарного типа описывают процессы генерации крупномасштабных магнитных полей в конвективных проводящих оболочках астрофизических тел. Одна из наиболее известных моделей такого типа была предложена Юджином Паркером еще в 1955 году для описания 11-летнего солнечного цикла [1]. Несмотря на кажущуюся для настоящего времени простоту, модель Паркера смогла дать ответы на два основных вопроса – почему вообще происходит генерация среднего магнитного поля и почему это среднее поле осциллирует со временем, то есть формирует миграционную динамо волну. Как и в любых осциллирующих системах, для моделей звездного и планетарного динамо возникает справедливый вопрос о параметрическом резонансе, другими словами, об усилении генерации при наличии периодического возмущения параметров системы [2]. В частности, для Солнца этот вопрос представляет особый интерес из-за формального совпадения 11-летнего солнечного цикла и 11-летнего периода вращения Юпитера. В данной работе мы, не останавливаясь на возможных физических причинах резонансов, например, в системах двойных звезд, или системах планета - тяжелый спутник, или звезда - тяжелая планета, акцентируем все внимание на математической стороне вопроса о параметрическом резонансе в динамо-системах паркеровского типа для тонких сферических конвективных оболочек.

Сложность рассматриваемого вопроса, в частности, характеризуется тем, что он уже неоднократно поднимался в теории динамо, см., например, работы [3, 4], однако попытки конкретизировать динамо-систему всегда приводили к тому, что разные работы давали разные ответы. В одних параметрический резонанс имел классический вид, то есть происходил на удвоенной собственной частоте, как и для уравнения гармонических колебаний, в других работах – классического резонанса в динамо-системах вообще не было. В нашей работе мы наоборот идем путем обобщения и упрощения, в частности, мы рассматриваем различные типы простейших систем Паркера и их маломодовые упрощения, представляющие из себя разложение компонент магнитного поля в тригонометрический ряд Фурье по нескольким (двум или трем) первым гармоникам. В такой постановке задача сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений типа Матье, причем эта система в определенных пределах допускает и аналитическое исследование, что существенно упрощает понимание физики явления. Сравнение различных видов систем Паркера и их маломодовых приближений показало, что на вид и наличие резонанса влияет множество факторов, главный из которых – это вид диффузионных слагаемых, а также распределение параметра спиральности по зенитному углу и значение динамо-числа. Одним из проявлений «неклассичности» данной системы является наличие так называемого неизбирательного резонанса, отличительной чертой которого является повышение уровня генерации на высоких частотах возбуждающего параметрического воздействия и, наоборот, его снижение на более низких частотах с локальным максимумом между удвоенной и утроенной собственной частотами системы. В случае отсутствия диффузии это явление удалось асимптотически объяснить, при наличии – задача анализировалась численно, так как представляла из себя суперпозицию классического (избирательного) и неизбирательного резонанса.

В рамках работы получен ответ на следующий вопрос: как именно выбор различных параметров системы Паркера влияет на наличие и вид параметрического резонанса в ней. Работа была поддержана грантом фонда БАЗИС № 21-1-3-63-1.

### Литература

1. Parker, E. N. Hydromagnetic Dynamo Models // *Astrophys. J.* V. 122. P. 293. 1955.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики I. Механика. // Москва. Наука. С. 103–109. 1973.
3. D. Moss and D. Sokoloff, *Astr. and Astrophys.* 553, A37. 2013.
4. Л.Л. Кичатинов, А.А. Непомнящих, *Письма в Астрон. Ж.* 41(7), 409. 2015.

### Секция

Активные процессы на Солнце

**Primary authors:** СЕРЕНКОВА, Анастасия; ЮШКОВ, Егор Владиславович (ИКИ РАН, Физический

факультет МГУ); СОКОЛОВ, Дмитрий Дмитриевич (Физический факультет МГУ)

**Presenter:** СЕРЕНКОВА, Анастасия