МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ЗВЕЗД

Введение в проблему

Группа исследований звездного магнетизма
САО РАН

Введение

- Проявления магнитных полей в космосе разнообразны: генерация космических лучей в Галактике, вспышки, взрывы и другие нестационарные явления на Солнце и звездах.
- Основной метод изучения – исследование проявлений эффекта Зеемана в спектрах небесных объектов.
- Эффект Зеемана – явление расщепления и поляризации спектральных линий во внешнем магнитном поле.
- Изучения космических полей – важнейшее направление исследований современной наблюдательной астрофизики. Наблюдения выполняются на крупнейших телескопах мира.

Единицы измерений

- Характеристиками величины магнитного поля являются напряженность **H** и индукция **B**.
- В вакууме единицей напряженности магнитного поля является 1 Эрстед.
- В веществе с магнитной проницаемостью μ индуцируется поле $\vec{B} = \mu\vec{H}$. Единица – 1 Гаусс.
- В космических уловиях μ = 1, поэтому напряженность и индукция поля равны.
- В системе СИ – единица измерений 1 Тесла. 1 Тл=10000 Гс.

Величины космических магнитных полей.

- Межзвездное пространство – микрогауссы.
- Большие темные молекулярные облака – миллигауссы.
- Общее магнитное поле Солнца – гауссы.
- Локальные поля солнечных пятен и общие – магнитных звезд – килогауссы.
- Общие дипольные поля магнитных белых карликов – мегагауссы.
- Нейтронные звезды и магнетары – террагауссы.
- 0.7 Гс – поле на магнитных полюсах Земли.

Эффект Зеемана

- Явление расщепления и поляризации спектральных линий во внешнем магнитном поле обнаружено в 1896 г. голландским физиком П. Зееманом.
- Первая интерпретация − Х. Лоренц в 1897 г.
- Нобелевская премия по физике 1901 г.
- В слабых (до 10 кГс) полях наблюдается сложный (аномальный) Зееман-эффект.
- Эффект Пашена-Бака – превращение аномального эффекта в нормальный в сильных магнитных полях.
- Квадратичный эффект Зеемана – смещение спектральных линий в сторону коротких длин волн.

Величина расщепления

- Расщепление линий в эффекте Зеемана очень мало
- $$\Delta\lambda = 4.67\ 10^{-13}\ \lambda^2 zB$$
- В обычной визуальной области спектра оно составляет величину порядка 0.01 Å в поле 1 кГс, поэтому исследования возможны только с применением спектральных приборов высокой разрешающей силы.
- Магнитные поля в межзвездной среде изучаются методами радиоастрономии.

Обнаружение магнитного поля Солнца и звезд.

- Магнитное поле в солнечных пятнах (B = 2 кГс) обнаружено Дж. Хэлом в 1908 г.
- Крупномасштабное общее магнитное поле Солнца (B = 1-2 Гс) обнаружил Х. Бэбкок в 1953 г.
- Магнитные поля у Ap звезд Главной последовательности (B = 2-5 кГс) обнаружил Х. Бэбкок в 1947 г.
- Сверхсильные магнитные поля белых карликов (B = 1-100 МГс) обнаружили Дж. Энжел и Дж. Ландстрит в 1970 г.
- Поля сложной структуры солнечно-подобных звезд найдены в восьмидесятые годы 20 века.

Межзвездная среда и области звездообразования

- Магнитные поля измеряются по расщеплению и поляризации линий в радиодиапазоне, чаще всего на длине волны 21 см.
- Магнитное поле в нашей Галактике и в других спиральных галактик направлено вдоль спиралей.
- Магнитное поле в спиральных рукавах – микрогауссы.
- В больших темных молекулярных облаках измеряются милигауссные поля (в линиях разных молекул, например, гидроксила).

Солнечные магнитные поля

- Магнитное поле Солнца имеет двухкомпонентную структуру – общее поле Солнца, как звезды (1-2 Гс) и локальное поле пятен (1-2 кГс).
- Солнечные вспышки – следствие перезамыкания силовых линий магнитного поля.
- Магнитные бури на Земле – следствие солнечных вспышек.

Почему магнитные поля звезд не были обнаружены раньше?

- Эффект Зеемана – слабо выраженный тонкий эффект, в солнечных пятнах он вызывает магнитное уширение линий порядка 0.01-0.02 Å, что на порядок меньше других причин уширения (инструментального и допплеровского).
- Поля в звездах на обычных спектрах можно найти только в случае если: 1) они очень сильные (более 10 кГс), 2) имеют простую дипольную конфигурацию, 3) линии в спектре очень узкие.
- Современные методы наблюдений (регистрация на ПЗС-матрицах) и моделирования позволили более чем на порядок увеличить точность измерений и обнаружить магнитные поля у целого класса объектов.

Магнитные поля холодных звезд

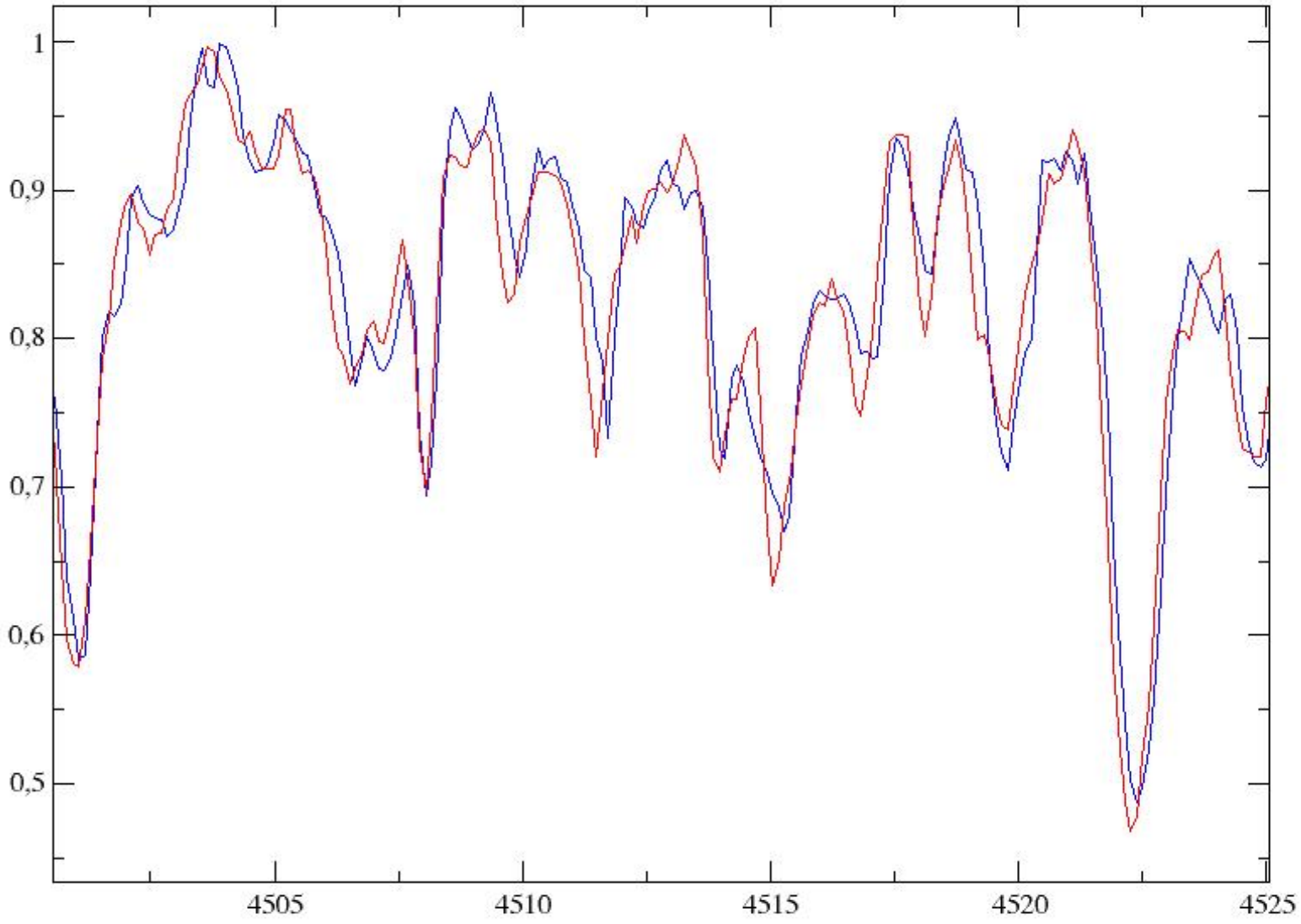
- Объекты холоднее Солнца.
- Имеют узкие и резкие линии в спектрах, что позволяет найти расщепление.
- Структура – сложная, пятнистая, но пятна занимают значительную долю поверхности. У Солнца – порядка 1%.
- Величины полей – несколько (2-3) кГс.
- Количество – более 50 объектов.

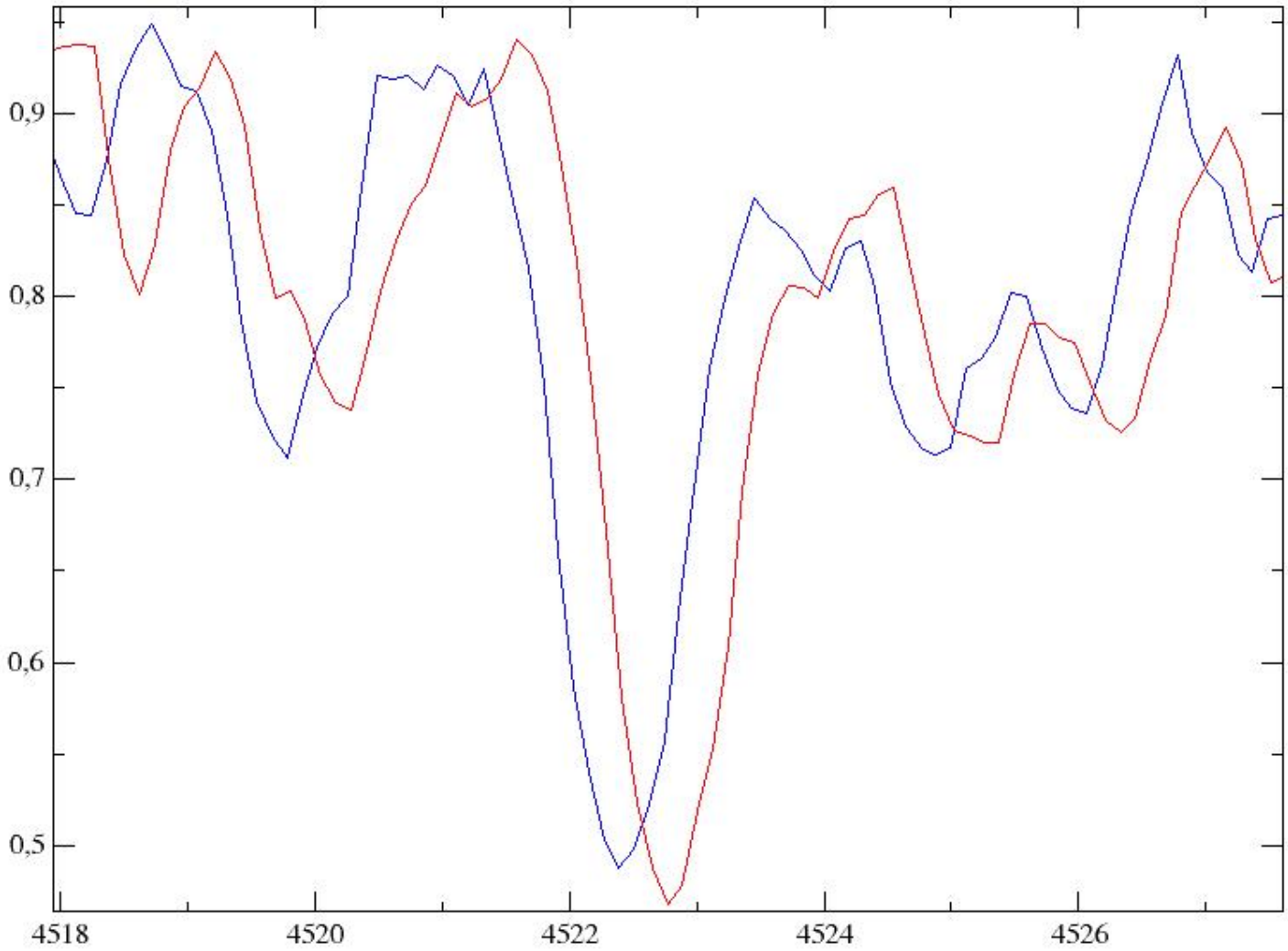
CP-звёзды

- CP-звезды – это первые объекты (после Солнца), у которых найдены магнитные поля (Бэбкок, 1947).
- Эти звезды имеют аномальный химический состав (в спектре наблюдаются усиленные линии кремния (Si), хрома (Cr), стронция (Sr), редкоземельных элементов (Eu, Gd, Sm и др.) и даже золота и платины.
- Химические элементы по поверхности распределены неравномерно, что приводит к фотометрической, спектральной и магнитной переменности вращающейся звезды. Наблюдается не физический, а геометрический эффект (модель наклонного ротатора).

Магнитные поля CP-звезд

- Структура поля глобальная, в основном дипольная. Мультиполярные компоненты (квадруполь и выше), как правило, слабы.
- Величина – от десятков Гс до десятков кГс. Наибольшее поле (сложной структуры) индукцией 70 кГс было найдено у звезды HD 37776 на 6-м телескопе САО.
- Около 300 магнитных CP-звезд. Из них на БТА обнаружено около 100.


1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
4505
4510
4515
4520
4525


0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
4518
4520
4522
4524
4526

Магнитные белые карлики и другие вырожденные объекты.

- Магнитное поле обнаружено примерно у 3% белых карликов.
- Величина от 1 до сотен мегагаусс.
- Структура – дипольная.
- Нейтронные звезды и магнетары – поляризация в континууме, поля – гига- и терагауссы.
- *Постоянных полей такой величины в земных условиях создать до настоящего времени не удается !*

Космос – большая физическая лаборатория

- Картина расщепления спектральных линий в эффекте Зеемана зависит от фундаментальных свойств (структуры атомов и молекул) вещества.
- Исследования проводятся в таких условиях (большие масштабы, плотности, температуры, магнитные поля), которые не могут быть созданы на Земле.
- Магнитные поля наблюдаются в разных объектах Галактики и за ее пределами.
- Общая закономерность – у более плотных объектов магнитные поля сильнее.