

Санкт-Петербургский государственный университет

Математико-механический факультет

кафедра астрофизики

**ЗВЕЗДЫ ТИПА Ae/Be
ХЕРБИГА**

Хуан Андрес Кахуаски Льерена

Октябрь 2013г.

1 Джордж Хауэрд Хербиг

Американский ученый родился 2 января 1920 года в штате Западная Вирджиния. Окончил Калифорнийский Университет в Беркли в 1943, там же и получил степень PhD в 1948 году. Тема его диссертации называлась “Исследование переменных звезд в туманностях”. Хербиг является создателем и важнейшим исследователем в изучении образования звезд и ранних этапов звездной эволюции. Джордж Хербиг был почетным астрономом Гавайского университета в Маноа и членом престижной Национальной академии наук.



Рис. 1: Джордж Хербиг (2 января 1920 - 13 октября 2013).¹

Он исследовал нестационарные звезды типа Т Тельца, которые являются звездами, похожими на наше Солнце по массе, но в то же время обладающими значительными отличиями, такими как: магнитная активность, спектральное излучение и содержание лития. Также, в число его работ входит изучение звезд типа Ae/Be Хербига - аналоги звезд типа Т Тельца, но с единственным отличием в массе (2-8 Msun). Вместе с Гильермо Аро, в 1951, обнаружил звездоподобные объекты, окруженные туманными оболочками (объекты Хербига-Аро), и идентифицировал новые молодые переменные звезды - звезды типа FU Ori. В его честь назван астероид 11754, объекты Хербига-Аро, и звезды Хербига Ae/Be.

За проведенные исследования, Хербигу были вручены разные награды и премии, среди них: Премия Хелены Уорнер Американского Астрономического Общества в 1951 году, Премия Генри Норриса Рассела Американского Астрономического Общества в 1975 году, Медаль Кэтрин Брюс Тихоокеанского Астрономического Союза в 1980 году, и многие другие.

Джордж Хауэрд Хербиг умер 12 октября 2013 года.

2 Определения: звезды типа Ae/Be Хербига

Еще в 1960 году, Хербиг предложил, что звезды типа Ae и Be являются звездами до главной последовательности, так же как звезды типа Т Тельца, но отличаются от вторых массой (2-8 Msun). Для определения этих звезд, использовались следующие наблюдательные критерии:

¹<http://www.astronomy.com/news/2013/10/astronomer-george-herbig-dies-at-age-93>

- Спектральный тип A, или ранее
- Спектр с эмиссионными линиями
- Звезды должны быть расположены в темных областях
- Звезды должны освещать яркую отражательную туманность в непосредственной близости

Первый критерий используется для того, чтобы звезды находились в соответствующем диапазоне по массе. Второй и третий пункты указывают на то, что звезды являются молодыми. Последний пункт удаляет из списка те звезды, которые проектируются в темных облаках. Еще, третий и четвертый пункты исключают туманные объекты с оболочками, рожденными после сильных выбросов. Эти утверждения позволили Хербигу создать список с 26 звездами. В 1984, Финкенцельер и Мундт использовали то же определение, чтобы расширить список до 57 звезд. Некоторые ученые реагировали на “не совсем ясное” определение Хербига. Они утверждали, что такое определение не выполняется, например, для объектов, которые имеют не только эмиссионные линии, но и еще абсорбционные ($H\alpha$), или для тех, которые совсем не ассоциируются с темными облаками. Тем более, диапазон спектрального типа этих звезд был расширен до типа F.

Однако, была одна очень заметная характеристика у всех звезд типа Ae/Be Хербига - избыток инфракрасного излучения за счет термического “переизлучения” присутствующим, в межзвездной среде, пылевым диском или оболочкой. Таким образом, критерии про расположение в темных областях, и про освещающий характер для какой-то близкой отражательной туманности удобно могут быть заменены на идею о существовании ИК избытка из-за присутствия межзвездной пыли.

В настоящее время общепринято определение, которое включает звезды до спектрального типа F8, что позволяет отличить звезды Ae/Be от классических хорошо известных Т Тельца. В общем, являются звездами типа Ae/Be Хербига те звезды, для которых выполняются следующие принципы:

- Спектральный тип B, A, или F,
- С присутствием, или отсутствием:
 - Отражательной туманности
 - Ассоциация с темной областью звездообразования
 - Эмиссионных линий
- Иногда с:
 - Иррегулярными фотометрическими изменениями
 - Переменной или высокой степенью линейной поляризации

- Но всегда, с ИК избытком излучения.

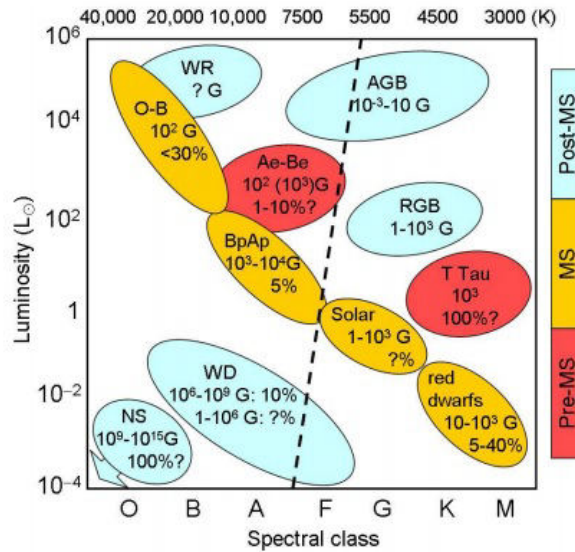


Рис. 2: Расположение на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (до главной последовательности) звезд Хербига. В процентах - вероятность присутствия магнитного поля со своими примерными значениями в Гауссах для некоторых типов звезд.²

Для лучшего понимания отличий между звездами типа Т Тельца, Ae/Ве Хербига, Вега (α Лиры) и β Живописца, которые имеют как общие характеристики так и отличительные, ниже представлена таблица:

Тип звезды	ИК избыток	Масса	Положение на диаграмме Г-Р
Т Тельца	есть	≤ 2 Msun	до Г-П
Ae/Ве Хербига	есть	2-8 Msun	до Г-П
α Лиры	есть	2-8 Msun	на Г-П
β Живописца	есть	2-8 Msun	на Г-П

Таблица 1: Отличия между звездами типа Т Тельца, Ae/Ве Хербига, Вега (α Лиры) и β Живописца.

²Berdugina Svetlana, Stellar magnetic fields across the H-R diagram: Observational evidence

3 Эволюция звезд типа Ae/Be Хербига

Чтобы четко понять различные этапы эволюции звезд такого типа, нужно сначала вспомнить одно важное понятие - распределение энергии по спектру.

Распределение энергии по спектру (Spectral Energy Distribution - SED) - это кривая распределения энергии излучения по длинам волн абсолютного черного тела при различных температурах. Площадь, ограниченная каждой кривой и осью абсцисс, определяет полную энергию всевозможных длин волн, испускаемую с единицы площади поверхности абсолютного черного тела за единицу времени. Эта площадь быстро растет с увеличением температуры, так как она возрастает пропорционально T^4 . Все кривые имеют максимумы, причем с увеличением температуры большая часть энергии приходится на более короткие волны. Для каждой температуры существует такая длина волны λ_{max} , на которую приходится наибольшая часть энергии, испускаемой абсолютно черным телом. При повышении температуры длина волны λ_{max} становится все более короткой. Именно поэтому раскаленное тело с повышением температуры становится сначала красным, затем оранжевым и, наконец, желто-белым.³ Распределение энергии по спектру излучения описывается формулой Планка, в соответствии с которой в спектре имеется единственный максимум, положение которого определяется законом Вина. Площадь под кривой соответствует суммарной мощности излучения по закону Стефана-Больцмана.

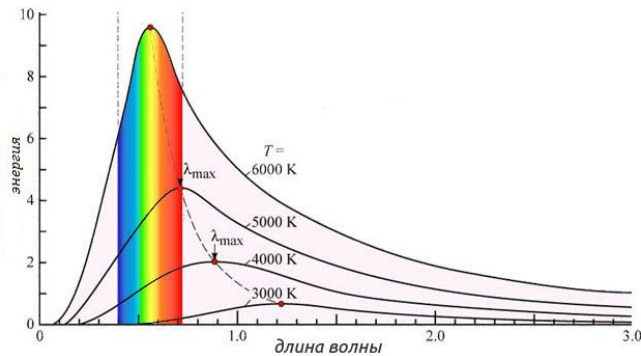


Рис. 3: Кривая распределения энергии по спектру абсолютного черного тела при разных температурах.⁴

Но, при чем здесь распределение энергии по спектру? Дело в том, что хотя звезды не являются черными телами, их излучение сильно его напоминает. Мы способны “моделировать” чернотельную кривую для любой звезды. Любое дополнительное излучение приходящее из пыльных областей вокруг звезды, как в случае Ae/Be звезд, будет очень

³Яворский Б. М., Основы Физики Т.2

⁴<http://teplonadzor.ru/laws/>

заметным, так как деформирует начальную кривую, создавая вторичную компоненту с температурой ниже звездной (пыль нагревается только благодаря звезде). Таким образом, изучение кривой распределения по спектру позволяет заметить другие источники излучения, кроме звезды, и определить его природу.

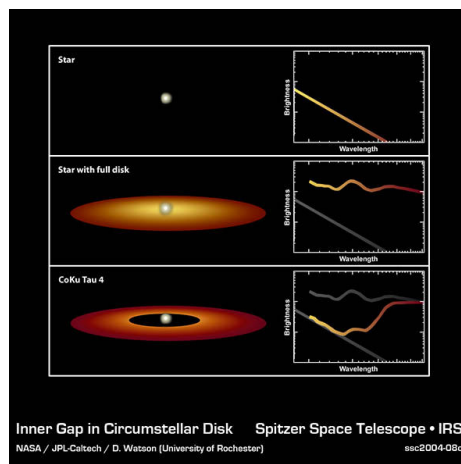


Рис. 4: Звезда без диска, с диском и с кольцеобразным диском и соответствующая ей кривая распределения энергии по спектру (кривая является только иллюстрацией).⁵

Для понимания этого явления на Рис.4 представляются разные случаи когда звезда имеет или нет пылевой диск, и как кривая распределения по спектру меняется в зависимости от этого. Верхняя часть представляет собой звезду без диска, для нее кривая создается только собственным излучением (одна компонента). Вторая картинка иллюстрирует звезду с диском, температура которого уменьшается в зависимости от расстояния от звезды, соответственно в этом случае существуют две компоненты - излучение звезды и излучение диска. Нижняя картинка представляет звезду с диском, находящимся на некотором расстоянии от звезды, в этом случае три компоненты излучения - пустая область кольцеобразного диска, пылевой диск и сама звезда.

Из изучения молодых звезд можно сделать вывод о том, что первый объект является самым старым, второй - самым молодым, и третий является объектом среднего возраста, где вероятно происходят процессы образования планет.

Теперь, используя информацию о распределении энергии и информации Рис.5, постараемся объяснить эволюционный процесс звезд типа Ae/Be Хербига.

⁵<http://www.spitzer.caltech.edu/images/1179-ssc2004-08c-Spectra-Show-Protoplanetary-Disc-Structures>

В статье *K. Malfait et al. (1998)* делается вывод об эволюции следующим образом: (a) Когда звезда формируется, она находится в своем материнском облаке, пока оптическое излучение не начнет доходить до наблюдателя. ИК избыток постепенно возрастает. (b) Через некоторое время внешняя оболочка исчезает и ИК излучение доходящего до наблюдателя создается диском, который гравитационно связан со звездой. Тогда в SED присутствует одна компонента которая излучает с избытком и в близкой, и в дальней ИК областях. (c) Распределение энергии по спектру указывает на то, что пылевая структура эволюционирует из-за разрушения диска. Вероятно, это происходит за счет процессов формирования планет. Температуры пыли, где происходит, согласуются с температурами зоны нахождения Юпитера. (d) Предполагается, что первая образованная планета в нашей системе является первой образованной планетой в нашей системе. (e) Конденсация пыли и формирование планет означает, что пыль исчезает и, следовательно, плотность во внешней части внутреннего диска падает. В этот момент, разные параметры определяют классификацию объекта как звезды типа β Живописца или типа Вега. (d,e) Структура внутреннего пылевого диска эволюционирует быстрее внешнего и, в результате, остается только избыток излучения в дальней ИК области.

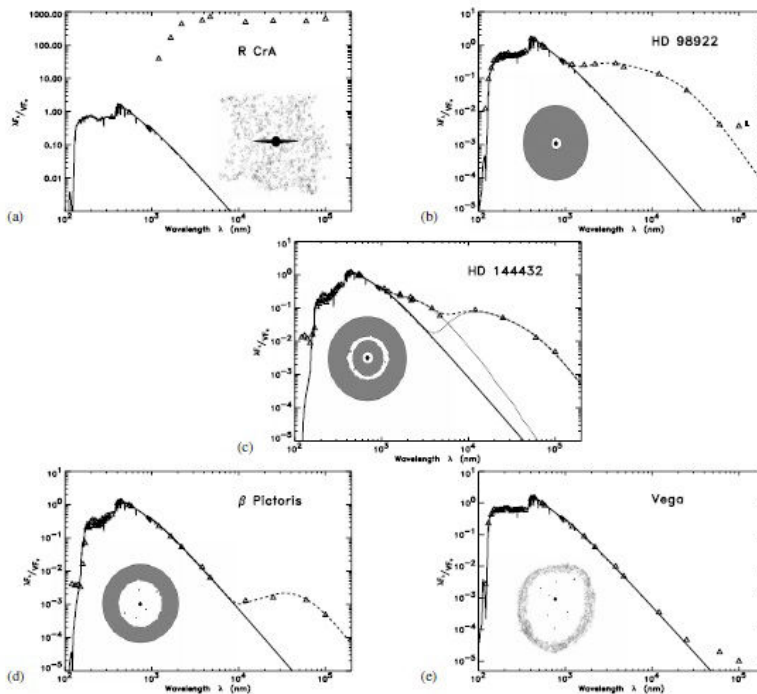



Рис. 5: Процесс эволюции звезд типа Ae/Be Хербига.⁶

⁶K. Malfait et al.: An ultraviolet, optical and infrared study of Herbig Ae/Be stars



Однако наблюдения показывают, что формирование планет не всегда является достаточным условием для того, чтобы “чистить” пылевую оболочку. Также, не всегда происходит формирование планет, процесс эволюции может быть объяснен моделью эволюции пыли и в таком случае звезда переходит

 типа Ae/Be Хербига прямо в типа Вега.

4 **Магнитное поле в звездах типа Ae/Ве**

Хербига



Несмотря на то, что существуют хорошие модели, описывающие магнитное поведение звезд типа ТТельца, являющихся аналогами звезд Ae/Ве Хербига, но при этом мало массивными, для звезд типа Ae/Ве до сих пор нет полного представления о магнитном поле и его взаимодействии с межзвездной средой в связи с отсутствием наблюдательных данных. Однако, существующие данные позволяют предполагать, как показано на Рис.2, что 1-10% таких звезд имеют магнитные поля и магнитную аккрецию со значениями в несколько сотен Гаусс. Также есть предположения о том, что магнитные поля в Ae/Ве звездах коррелируют с рентгеновским излучением, и они становятся слабыми или полностью исчезают гда  приходят на главную последовательность.

Список литературы

- [1] G. Herbig, *The Spectra of Ae and Be Type Stars Associated with Nebolosity*. ApJ, vol. 4, p. 337. 1960.
- [2] Яворский Б. М., Пинский А. А., *Основы Физики*. Наука, Том 2, стр. 192. 1969.
- [3] Miroshnichenko et al., *On protostellar disks in Herbig Ae/Be stars*. ApJ, vol. 475, p. L41. 1997.
- [4] K. Malfait et al., *An ultraviolet, optical and infrared study of Herbig Ae/Be stars*. A&A, vol. 331, p. 211. 1998.
- [5] Berdyugina Svetlana, *Stellar magnetic fields across the H-R diagram: Observational evidence*. Cosmic Magnetic Fields: From Planets, to Stars and Galaxies, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, vol. 259, p. 323. 2009.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_energy_distribution
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Pre%E2%80%93main_sequence_star
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/George_Herbig