

УДК 524.387

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕЗД КРОССКОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Ляшко Д.А., Ляшко С.Д.

*Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: dlyashko@gmail.com*

Описан алгоритм определения фундаментальных параметров звезд, таких как эффективная температура, логарифм ускорения силы тяжести, скорость вращения и проекция скорости собственного движения на луч зрения. В основу метода положен метод кросс-корреляции наблюдаемых спектров с базой данных синтетических спектров, охватывающей весь диапазон спектральных классов. Описываемая методика позволяет оценить фундаментальные параметры звезды и, в дальнейшем, использовать их как первое приближение для более точного анализа. Также возможно определить принадлежности группы исследуемых звезд к рассеянному звездному скоплению.

Ключевые слова: спектр, эффективная температура, логарифм ускорения силы тяжести, скорость вращения, лучевая скорость, синтетический спектр.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из существующих на данный момент проблем современной астроспектроскопии звезд является необходимость одномоментного анализа большого количества наблюдаемых спектров. Наиболее ярко эта проблема проявляется в анализе наблюдений, получаемых на космических обсерваториях: количество исследуемых объектов составляет до миллиардов (GAIA). Менее впечатляющим по объему является анализ наблюдений, получаемым на наземных многоцелевых спектрометрах – сотни и тысячи спектров звезд.

Поэтому сейчас, как никогда, стала острой проблема автоматизации спектральных наблюдений звезд. Разрабатываются мощные программные комплексы, предназначенные для определения фундаментальных характеристик звездных атмосфер путем подгонки теоретических спектров к наблюдаемым спектрам звезд. Однако сформулированная задача является существенно нелинейной и требует знания качественного первого приближения, - т.е. достаточно точной предварительной оценки искомых параметров. Как минимум, прежде чем приступить к нелинейному анализу, нам необходимо распознать принадлежность исследуемой звезды к тому, или иному, спектральному классу, типу переменности и т.п.

Сравнительно недавно нам было предложено участие в проекте исследования звездного населения в ряде рассеянных скоплений Галактики. Наблюдательный материал представлял собой низкодисперсионные ($R \sim 11000$) спектры и ставилась задача разработки метода экспресс-анализа лучевых скоростей звезд, с целью определения принадлежности исследуемых звезд данному скоплению.

Для решения поставленной задачи был использован самый быстрый способ определения лучевых скоростей звезд – кросс-корреляцию наблюдаемых спектров с теоретическими спектрами звезд. В процессе работы было выяснено, что этот подход позволяет также с неплохой точностью оценить ряд фундаментальных характеристик исследуемых звезд – эффективную температуру, ускорение силы тяжести на поверхности звезды и проекцию скорости вращения звезды на луч зрения.

В статье описаны детали разработанного метода и выполнена предварительная оценка точности получаемых результатов по спектрам звезд с хорошо известными значениями фундаментальных характеристик их атмосфер.

1. КРОСС-КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Разработанный метод состоит из нескольких этапов:

Первый этап состоит в подготовке базы данных эталонов (template) для кросс-корреляционного анализа. Поскольку мы имели дело со звездами рассеянных скоплений, в качестве эталона достаточно выбрать синтетический спектр, полученный при одном значении металличности звезд. Для более масштабных задач (например, исследование звезд Галактики, GAIA), база данных должна быть расширена за счет как теоретических спектров при разной металличности, так и за счет наблюдаемых спектров "нестандартных" объектов, например, с сильной эмиссией и т.д.

1. создание базы данных синтетических спектров. Для создания базы данных была использована сетка моделей атмосфер Куруча[1]. Из данной базы при помощи программы SynthV [2] были просчитаны синтетические спектры в диапазоне $4450\text{--}5100\text{\AA}$ с шагом 0.05\AA . Для удобства организации поиска база синтетических спектров представлена в виде файла прямого доступа, в котором каждая запись имеет вид:
 - значения потока излучения для всех длин волн
 - значения потока излучения в континууме
 - значения удельных интенсивностей излучения для разных точек диска звезды (для корректного учета вращения звезды)
2. Нормализация на континуум. Предоставленные нам спектры звезд не были нормализованы на континуум. Для нормализации на континуум была применена следующая методика:
 - В первом приближении за точки, принадлежащие непрерывному спектру, принимаем все локальные максимумы. Для того, чтобы крылья линии H_{β} не исказили результат нормализации, участок $4810\text{--}4950\text{\AA}$ исключается из процесса отбора точек.
 - Используя итерационную аппроксимацию полиномом 3 степени, отбираем точки из спектра звезды для проведения континуума.
 - Через полученные точки проводим окончательный полином, который будет являться непрерывным спектром для данного участка (Рис.1.).

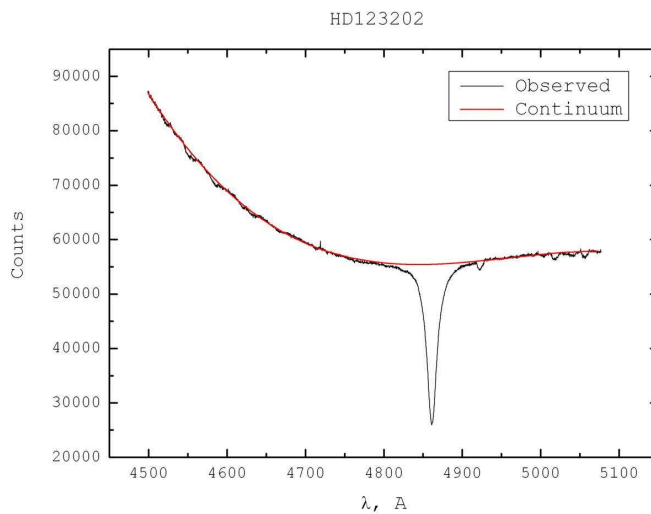


Рис. 1. Проведение непрерывного спектра у звезды HD123202.

Теоретические спектры были свернуты с инструментальным разрешением (инструментальный профиль был представлен функцией Гаусса).

3. Вычисление кросс-корреляционной функции. Для проведения сравнения наблюдаемый спектр интерполируется на равный шаг по длинам волн, и оба спектра переводятся в поле скоростей, согласно эффекту Доплера. Для заданного интервала изменения скоростей вычисляется массив значений кросс-корреляционной функции.

$$ccf(v) = \frac{\sum (R_{obs} \cdot R_{synt})}{\sqrt{\sum R_{obs}} \cdot \sqrt{\sum R_{synt}}},$$

где R_{obs} и R_{synt} соответствующие значения остаточной интенсивности наблюдаемого и синтетического спектров.

В первом приближении сравнение происходит с большим шагом по эффективной температуре (логарифмы силы тяжести и сетка скоростей вращения используются полностью). По результатам сравнения спектры попадают в один из 6 списков по температурам (от меньших к большим), после чего наблюдаемый спектр сравнивается с малым шагом в границах данной категории. По результатам проведения каждого сравнения находится максимум кросс-корреляционной функции (рис.2.).

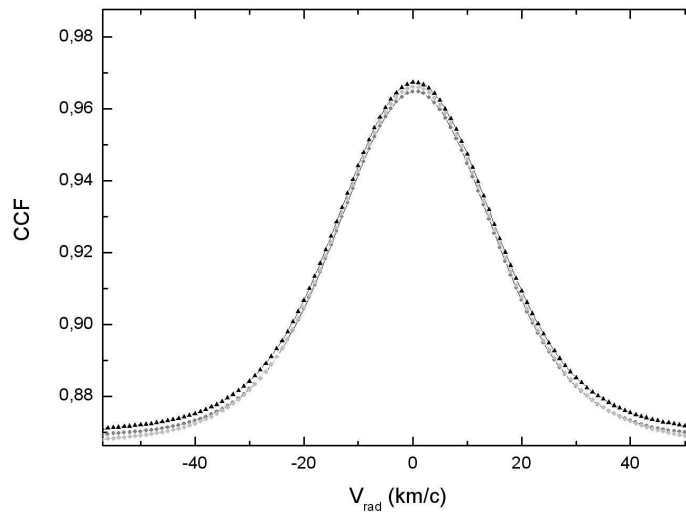


Рис. 2. Вид фрагмента кросскорреляционных функций в диапазоне скоростей от -50 до 50 км/с., полученные для разных синтетических спектров.

Затем из всех результатов выбирается максимальное значение среди максимумов кросскорреляционной функции. По значению этого положения определяем значение лучевой скорости. Значение логарифма силы тяжести принимается равным значению синтетического спектра с лучшим соответствием (рис.3.).

4. Определение основных параметров. Эффективная температура T_{eff} и скорость вращения $V_{\text{sin i}}$ определяются следующим образом:

- от значения соответствующей величины синтетического спектра с лучшим соответствием берутся по 2 значения влево и вправо (если значения расположены не на краю сетки, уточнения не производится), и просчитываются для них значения максимумов кросскорреляционных функций.
- Найденные значения аппроксимируются полиномом 3 степени.
- максимальное значение аппроксимирующей функции является искомым параметром.

По смещению максимума кросскорреляционной функции определяются значение лучевой скорости согласно эффекту Доплера. Все остальные параметры наблюдаемого спектра принимаются равными параметрам того наблюдаемого спектра, значение максимума кросскорреляционной функции которого было наибольшим.

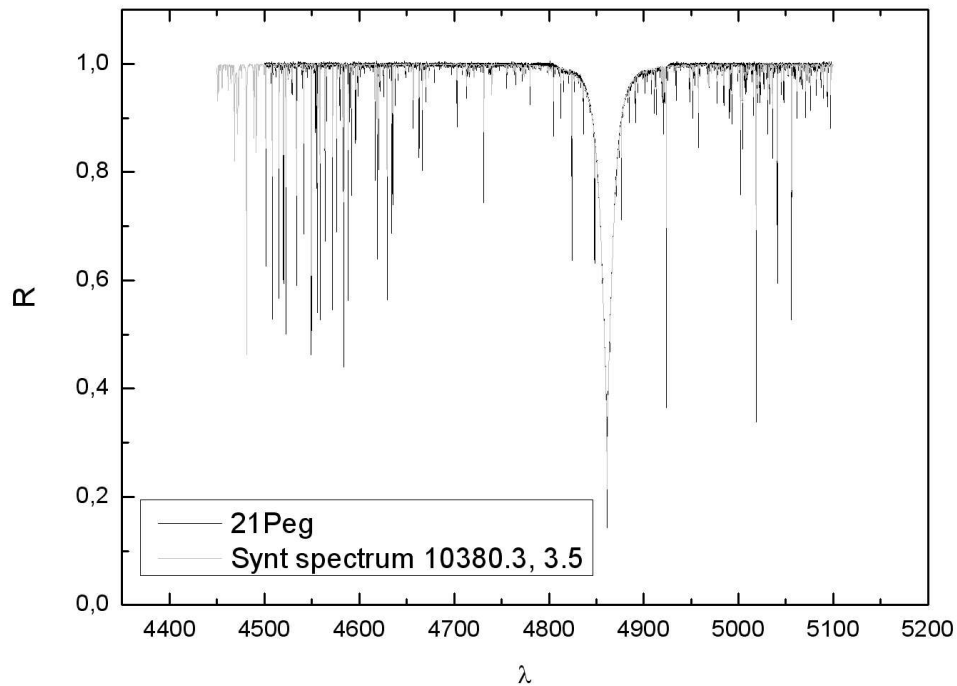


Рис. 3. Результат сравнения спектра звезды 21Peg с синтетическим спектром с параметрами $T_{\text{eff}}=10000$ $\lg g=3,5$.

2. АПРОБАЦИЯ МЕТОДА

Для проверки предложенной методики были отобраны спектры звезд 21peg, HD145788 и PI Cet, для которых достаточно точно классическими методами были определены эффективная температура и ускорение силы тяжести и другие параметры.[3]. Сравнение полученных параметров показано в Таблице1. Их результатов сравнения видно, что несмотря на очень низкое разрешение исходных спектров, полученные эффективные температуры и ускорения силы тяжести хорошо согласуются с литературными данными. Результаты определения $V \sin i$ видимо находятся на пределе точности методики, хотя для первичной оценки этот результат довольно неплохой

Таблица 1
Сравнение параметров звезд, полученных изложенной методикой с литературными данными

Star	T_{eff}		$\text{Log } g$		$V_{\text{sin}i}$		V_{rad}	
	CCF	Paper	CCF	Paper	CCF	Paper	CCF	Paper
21peg	10380.3	10400	3.50	3.55	1.0	3.76	0,4	0,5
HD145788	9554.7	9750	3.50	3.70	1.0	10	-13.6	-13,9
PI Cet	14268	12800	4.0	3.75	14.25	20.2	7.20	12.5

Разработанная методика была также опробована для определения принадлежности звезд к рассеянным скоплениям. Для небольшого количества звезд были определены скорости при помощи полученных методик подгонки теоретических спектров к наблюдаемым. На рис.4. дан результат сравнения скоростей, полученных обоими методами. Из рис.4. видно, что в диапазоне скоростей от -50 до 100 км/с средняя ошибка составляет 5 км/с. Что является хорошим результатом для спектров с разрешением 11000.

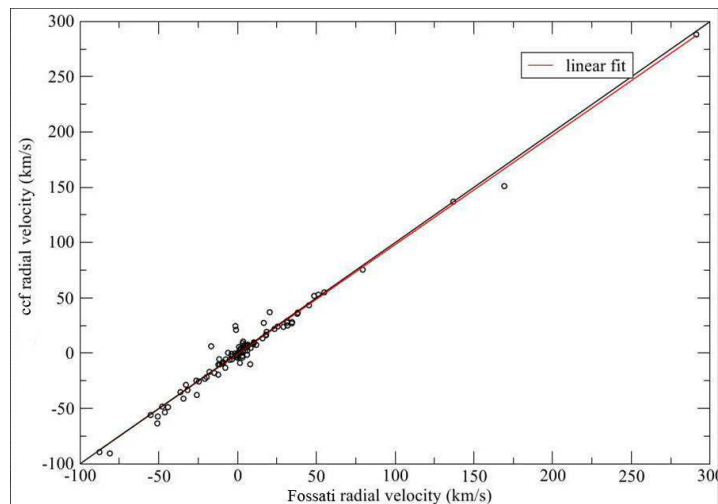


Рис. 4. Результат сравнения скоростей, полученных обоими методами.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика позволяет выполнять процесс определения фундаментальных параметров звезд полностью в автоматическом режиме. Диапазон работы программного комплекса зависит от заранее рассчитанной базы данных синтетических спектров, что позволяет использовать данную методику для большого количества астрофизических задач. Получаемая точность определения параметров позволяет использовать их в качестве первого приближения при более детальном анализе астрофизических объектов с использованием более качественного спектрального материала.

Список литературы

1. Kurucz/Grads of model atmospheres/ harvard university -<http://kurucz.harvard.edu/grids.html> – 20.10.2009.
2. Tsymbal, V. V. 1996, in Model Atmospheres and Spectral Synthesis, ed. S. J. Adelman, F. Kupka & W. W. Weiss, ASP.
3. L. Fossati. The chemical abundance analysis of normal early A- and late B-type stars / L. Fossati, T. Ryabchikova, S. Bagnulo, E. Alecian, J. Grunhut, O. Kochukhov, and G. Wade // Astronomy and Astrophysics. – 2009 – Volume 503, Issue 3. – pp. 945-962.

Ляшко Д.А. Використання кросскореляційного методу для визначення фундаментальних параметрів зірок / Д.А. Ляшко, С.Д. Ляшко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Фізико-математичні науки. – 2010. – Т. 23(62), № 1. Ч. I. – С. 139-145.

Описаний алгоритм визначення фундаментальних параметрів зірок, таких як ефективна температура, логарифм прискорення сили тяжіння, швидкість обертання і проекцію швидкості власного руху на промінь зору. У основу методу покладений метод кросс-кореляції спостережуваних спектрів з базою даних синтетичних спектрів, що охоплює весь діапазон спектральних класів. Описувана методика дозволяє оцінити фундаментальні параметри зірки і, надалі, використовувати їх як перше наближення для точнішого аналізу. Також можливо визначити приладдя групи досліджуваних зірок до розсіяного зоряного скупчення.

Ключові слова: спектр, ефективна температура, логарифм прискорення сили тяжіння, швидкість обертання, променева швидкість, синтетичний спектр.

Lyashko D.A. Use of crosscorrelational method for determination of fundamental parameters of stars / D.A. Lyashko, S.D. Lyashko // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2010. – Vol. 23(62), No. 1. P. I. – P. 139-145.

The algorithm of determination of fundamental parameters of stars is described, such as an effective temperature, logarithm of acceleration of gravity, speed of rotation and projection of rate of own movement on the ray of sight. In basis of method the method of cross-correlation of the looked after spectrums is fixed with the base of these synthetic spectrums, wrap-round all of range of spectral classes. The described method allows to estimate the fundamental parameters of star and, in future, utilize them as the first approaching for more exact analysis. It is also possible to define belongings of group of the probed stars to the dissipated star accumulation.

Keywords: spectrum, effective temperature, logarithm of surface gravity, speed of rotation, radial speed, synthetic spectrum.

Поступила в редакцію 18.01.2010 г.