

## О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ХОЛОДНЫХ ЗВЕЗД

В. Е. Панчук, В. В. Цымбал \*

Методом синтетических спектров показано, что современные определения химического состава холодных звезд могут содержать систематические ошибки. Эти ошибки связаны со спектральным разрешением и способом определения эквивалентных ширин и поэтому зависят от выбора рабочего диапазона длин волн.

It is shown by the synthetic spectra method that there may be systematic errors in the modern determination of the chemical composition of the cool stars. These errors are connected with the spectral resolution and the way of determination of the equivalent widths and, therefore, they depend on the operating wavelength range.

Ряд вопросов теории химической эволюции Галактики связан с анализом химического состава атмосфер холодных звезд. Как правило, при калибровке фотометрических методов определения металличности или при непосредственных спектроскопических исследованиях используется материал со спектральным разрешением в пределах 0.2—0.5 Å. Достигнутая внутренняя точность методов анализа таких наблюдений невелика и объясняется обычно ошибками определений сил осцилляторов и ошибками измерения параметров линий. Систематические различия шкал сил осцилляторов и ошибки определения физических параметров атмосфер определяют низкую внешнюю точность, т. е. плохую сопоставимость результатов, полученных для одной звезды разными авторами. Многочисленные примеры сопоставимости определений химического состава, выполненных для одной звезды, можно найти в [1]. Существуют и другие причины случайных и систематических различий результатов определения химического состава, но вследствие второстепенной роли они рассматриваются реже. Мы приводим результаты исследования двух таких факторов: используемого спектрального разрешения и степени концентрации линий в исследуемом диапазоне длин волн.

Чтобы анализировать влияние перечисленных факторов отдельно от влияния шкалы сил осцилляторов и процедуры определения параметров атмосферы, мы применили метод синтетических спектров. Такой подход позволяет одновременно исключить влияние ошибок измерения параметров линий вследствие шумов приемника.

Нами использованы две модели атмосферы из работы [2]: модель с солнечным химическим составом и модель с десятикратным дефицитом всех элементов (кроме водорода и гелия). Эффективные температуры и ускорения силы тяжести равны  $T_e = 5500$  К,  $g = 10^4$  в обоих случаях, величина микротурбулентной скорости  $\xi_t = 2$  км/с, величина постоянной затухания в 10 раз больше классического значения. Синтетические спектры были рассчитаны для двух диапазонов: синего ( $\lambda = 4500 \div 4520$  Å) и красного ( $\lambda = 6000 \div 6040$  Å). В расчете учтены соответственно 447 и 435 линий из списка [3], попадающих в указанные диапазоны. Таким образом, реализовано четыре варианта, характеризующие различную степень концентрации спектральных линий: синий диапазон в спектре звезды с солнечным обилием элементов, синий диапазон в спектре звезды с дефицитом металлов и два красных диапазона. Отметим сразу, что из-за относительно высокой эффективности фотоэмульсий, используемых в синем диапазоне длин волн, и вследствие появления в спектрах более холодных звезд систем моле-

\* Симферопольский государственный университет им. М. В. Фрунзе.

кулярных полос, расположенных в красном диапазоне, преобладают наблюдения в диапазоне 4500—5000 Å.

Синтетические спектры были свернуты аппаратной функцией спектрального прибора, аппроксимированной гауссианой с известной полушириной. Пример влияния спектрального разрешения виден из рис. 1. Полученные таким образом спектры рассматривались как идеальный (отношение сигнал/шум около 100) наблюдательный материал, полученный на спектрографе с заданным спектральным разрешением  $\Delta\lambda$ . По этим спектрам методом, общепринятым при анализе наблюдений, были определены эквивалентные ширины  $W$ . Кроме непосредственных измерений  $W$  были определены косвенно, с использованием зависимости эквивалентной ширины от центральной глубины линии  $r$ . С этой целью по красному диапазону была определена эмпирическая зависимость  $W(r)$ , а в синем диапазоне величины  $W$  были определены по измеренным  $r$  с использованием этой зависимости. В обоих вариантах определения  $W$  мы учитывали незначительное (на 2—3 %) понижение уровня непрерывного спектра, которое связано с изменением спектрального разрешения. На рис. 2 приведены зависимости  $W(r)$  для трех значений спектрального разрешения  $\Delta\lambda$ : случай бесконечно узкой щели

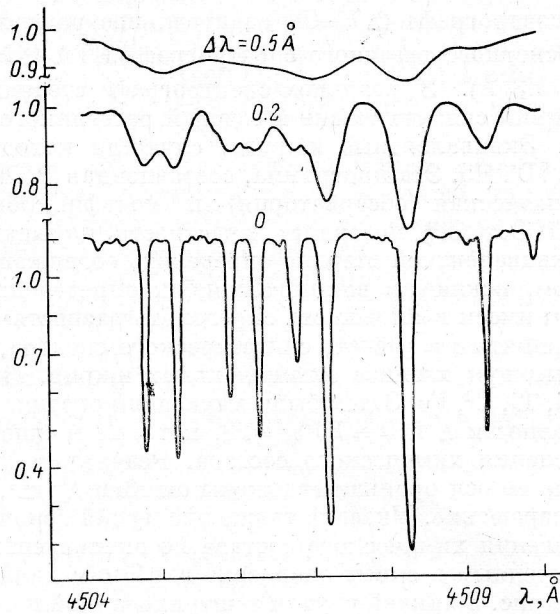


Рис. 1.

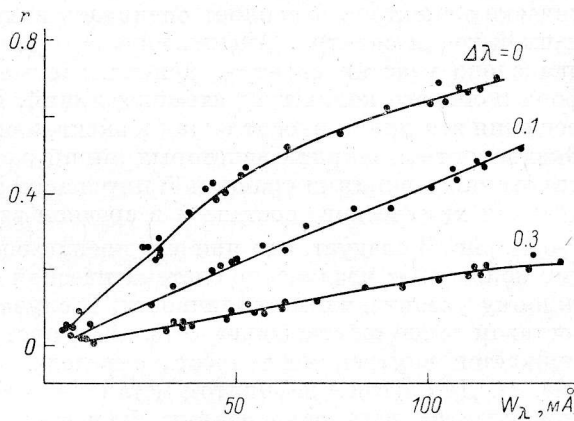


Рис. 2.

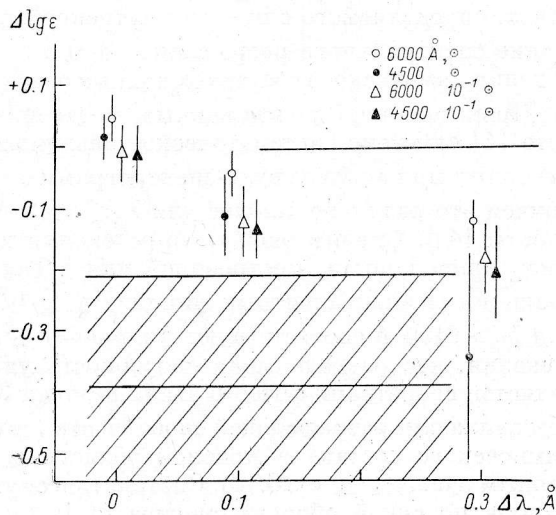


Рис. 3.

Рис. 1. Влияние спектрального разрешения на вид синтетического спектра.

Рис. 2. Связь эквивалентной ширины линии  $W$  и центральной глубины  $r$  в функции спектрального разрешения  $\Delta\lambda$ .

Рис. 3. Зависимость систематической ошибки определения химического состава  $\Delta \lg \epsilon$  от спектрального разрешения  $\Delta\lambda$ , вычисленная для различных спектральных диапазонов по моделям атмосфер, имеющих солнечный химический состав (○) и десятикратный дефицит тяжелых элементов ( $10^{-1}$  △).

спектрографа ( $\Delta\lambda=0$ ), спектральное разрешение, реализуемое с камерой № 1 Основного звездного спектрографа БТА ( $\Delta\lambda=0.1 \text{ \AA}$ ), и с камерой № 2 ( $\Delta\lambda=0.3 \text{ \AA}$ ). В реальном спектрографе степень искажения центральных глубин линий связана также и с долей рассеянного света.

Эквивалентные ширины служили исходной информацией для программы WIDTH5. Эта программа, составленная Р. Л. Куручем (Смитсоновская астрофизическая обсерватория) и модифицированная Т. А. Киппером (ИАФА АН ЭстССР), позволяет, в частности, по заданной модели атмосферы и заданной эквивалентной ширине определить содержание данного элемента. Таким образом, исключив влияние ошибок определения параметров модели атмосферы, мы имеем возможность определить разность  $\delta \lg \epsilon$  между химическим составом, принятым в расчете синтетического спектра, и химическим составом, полученным при анализе эквивалентных ширин. Всего было использовано 28 линий Si, Ti, Cr, Fe. Затем были вычислены средние по всем линиям данного диапазона разности  $\Delta \lg \epsilon = \Sigma \delta \lg \epsilon / 28$ , которые можно рассматривать как ошибки определения химического состава. Результаты вычислений приведены на рис. 3, где по оси ординат отложены ошибки  $\Delta \lg \epsilon$ , а по оси абсцисс — спектральное разрешение. Указана также дисперсия величины  $\Delta \lg \epsilon$ . Средняя ошибка определения химического состава по эквивалентным ширинам, полученным по измеренным в синем диапазоне глубинам линий ( $\Delta \lg \epsilon = -0.39 \pm 0.18$ ), отмечена на рис. 3 линией внутри заштрихованной полосы и не зависит от спектрального разрешения вплоть до  $\Delta\lambda=0.4 \text{ \AA}$ .

Разработанная одним из авторов (В. В. Цымбал) программа расчета синтетических спектров позволяет оценивать вклад каждой линии в формирование данной точки спектра. Анализ вклада отдельных линий показал, что в синем диапазоне участки спектра, приписываемые континууму, состоят из слабого фона большого количества атомных линий. При снижении спектрального разрешения эти линии вносят вклад в эквивалентную ширину исследуемых линий. Эквивалентная ширина некоторых линий растет из-за обычных эффектов блендирования с линиями сравнимой интенсивности, что увеличивает ошибку определения химического состава и в среднем завышает химический состав.

Из рис. 3 следует, что при ухудшении спектрального разрешения происходит монотонное увеличение систематической ошибки  $\Delta \lg \epsilon$ , приводящее к фиктивному увеличению металличности. В случае звезд с нормальным химическим составом такое «обогащение» металлами прогрессирует с  $\Delta\lambda$  быстрее, и быстрее снижается внутренняя точность определения химического состава (точки на рис. 2). Для звезд с дефицитом металлов использование синей и красной областей спектра дает равноценную точность определения химического состава. Метод определения эквивалентных ширин по центральным интенсивностям приводит к систематическим отклонениям в величине среднего химического состава, определяемого с низкой внутренней точностью. Из рис. 1 видно, что снижение спектрального разрешения до  $0.5 \text{ \AA}$  делает невыполнимой задачу определения химического состава холодных звезд по наблюдениям в синем диапазоне.

Приведем одно из возможных подтверждений результатов расчетов. В работе [4] отмечено систематическое различие систем эквивалентных ширин, полученных при анализе куде-спектрограмм с обратной дисперсией  $1.6$  и  $4.4 \text{ \AA/мм}$ , причем это различие больше для  $\lambda < 5600 \text{ \AA}$  и меньше для  $\lambda > 6100 \text{ \AA}$  (рис. 1 работы [4]). Оценим ошибки определения химического состава, воспользовавшись кривой роста, построенной для  $\alpha$  Тау (рис. 2 из [5]). Систематическим различиям в эквивалентных ширинах  $\Delta \lg W = 0.3$  для  $\lambda < 5600 \text{ \AA}$  и  $\Delta \lg W = 0.1$  для  $\lambda > 6100 \text{ \AA}$  соответствуют отклонения  $\Delta \lg \epsilon = 0.5$  и  $\Delta \lg \epsilon = 0.15$ . В предположении, что разрешающая способность упомянутых в [4] наблюдений определяется свойствами фотоэмульсии и равна  $30 \text{ мкм}$ , получим, что при трехкратном снижении разрешающей способности (от  $0.05$  до  $0.15 \text{ \AA}$ ) ошибка определения химического состава в красной области спектра ( $\Delta \lg \epsilon = 0.15$ ) соответствует данным рис. 3 ( $\Delta \lg \epsilon = 0.10$ ). Систематическую ошибку определения химического состава по синей области спектра ( $\Delta \lg \epsilon = 0.5$ ) нельзя объяснить эффектами, рассмотренными в нашей работе. Возможно, что упомянутые в [4] наблюдения

отличаются еще и уровнем проведения непрерывного спектра в синем диапазоне. Следует также учесть, что численный пример, приведенный на рис. 3, соответствует эффективной температуре 5500 К, тогда как в [4] рассмотрены наблюдения звезд с эффективной температурой 4800 К ( $\beta$  Gem K0III и 4000 К) ( $\alpha$  Tau K5 III) и синий диапазон в спектрах этих звезд сильнее перегружен линиями.

Влияние спектрального разрешения и выбора спектрального диапазона на результат определения металличности следует учитывать не только при постановке наблюдательных программ, но и при использовании компилятивных списков типа [1] в моделях химической эволюции Галактики.

### Литература

1. A catalogue of [Fe/H] determinations / G: Cayrel de Strobel. — *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1981, 45, N 1, p. 97.
2. Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars. *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 1979, 40, p. 1—340.
3. Kurucz R. L., Peytremann E. A table of semiempirical gf-values. — *Smithsonian Astrophys. Observ. Special Report*, 1975, N 362, pt. 2, p. 401—800.
4. Elste G. — In: *High Resolution Spectrometry*. Trieste, Ed. by M. Hack, July 3—7, 1978, p. 692—697.
5. Paradijs J. van, Meurs E. J. A differential abundance analysis of  $\alpha$  Tau relative to  $\alpha$  Boo. — *Astronomy and Astrophys.*, 1974, 35, p. 225—231.

Поступила в редакцию 3 мая 1983 г.