

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОДИСПЕРСИОННЫХ СПЕКТРОГРАММ О-А-ЗВЕЗД С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

А. А. Коровяковская, Ю. П. Коровяковский, Е. Л. Ченцов

Описана методика автоматического определения фотометрических параметров и длин волн изолированных спектральных линий с помощью цифрового микрофотометра и ЭВМ. Эта методика позволяет без потери точности, обеспечиваемой фотопластинкой, обрабатывать высокодисперсионные спектрограммы звезд ранних спектральных классов.

Methods for automatic determination of photometric parameters and wavelengths of isolated spectral lines with the help of a digital microphotometer and a computer are described. The methods allow processing of high—dispersion spectrograms of stars of earlier spectral classes avoiding losses of the accuracy secured by the plate.

В Специальной астрофизической обсерватории начата работа по автоматизации обработки разнообразного спектрального материала. В настоящей статье описан исходный этап этой работы, на котором мы ограничились спектрограммами, предназначенными для изучения атмосфер звезд ранних спектральных классов, в частности горячих сверхгигантов. Такой выбор оправдан тем, что данная астрофизическая задача допускает существенное упрощение вычислительной программы первичной обработки.

Считывание и обобщение спектроскопической и спектрофотометрической информации полезно рассматривать как начальное звено интерпретации. Это позволяет, например, во многих случаях не разделять наблюдаемые бленды на компоненты, а вычислить их, варьируя химический состав и физические параметры модели.

Важно и то, что в спектрах звезд ранних спектральных классов довольно много изолированных линий. Имеются в виду линии не обязательно одиночные — это могут быть и мультиплеты, и бленды, но в любом случае окаймленные с обеих сторон непрерывным спектром.

Наконец, обратная дисперсия рассматриваемых спектрограмм не превышает $5-6 \text{ \AA/мм}$, полуширины большинства линий варьируют от 0.5 до 2 \AA , а ширина полоски спектра на пластинке не менее 0.8 мм . Поэтому площадь измерительной щели микрофотометра может быть достаточно большой, чтобы уже в процессе фотометрирования обеспечивалось удовлетворительное «сглаживание» шумов и тем самым исключалась необходимость введения соответствующей процедуры в вычислительную программу. Кроме того, в большинстве случаев ширина изображения щели спектрографа на пластинке значительно меньше полуширины линии, следовательно отпадает необходимость исправления наблюдаемого профиля за инструментальное уширение.

Обработка спектрограмм включает получение фотометрических параметров отдельных линий спектра звезды и их привязку к линиям лабора-

торного источника. Причем для каждой из звездных линий необходимо получать не только средние длины волн, но и ход длины волны с остаточной интенсивностью, несущий дополнительную информацию о движении вещества в звездной атмосфере.

Выполнение этой задачи базируется на имеющихся в обсерватории ЭВМ «М-222» и микрофотометре с преобразователем «спектр—код» [1]. Измеряемые микрофотометром пропускания спектрограммы преобразуются в числа от 1 до 800. Конструкция микрофотометра предусматривает последовательное считывание информации с соответствующих участков

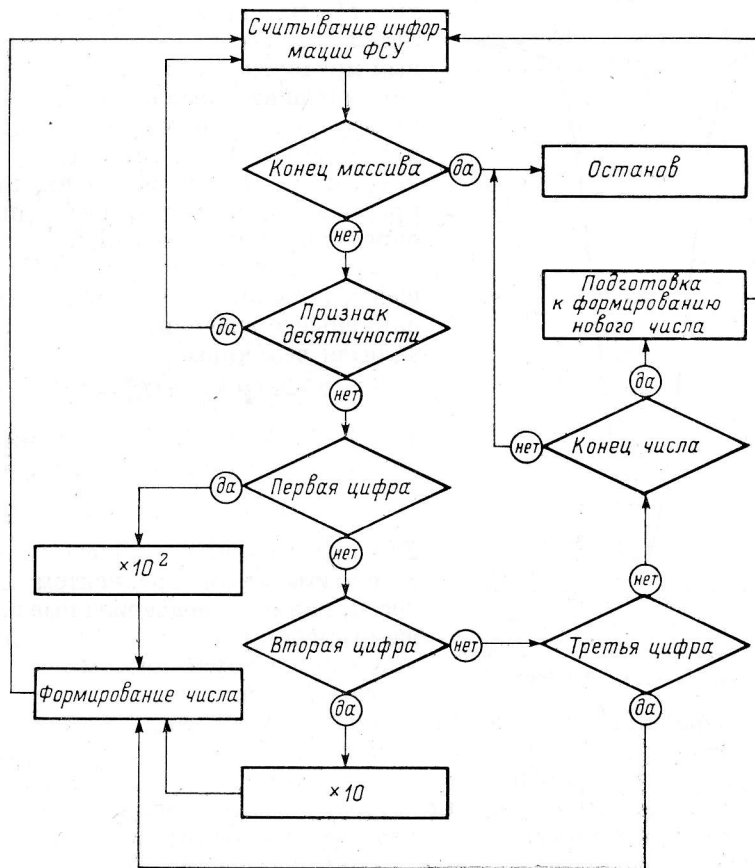


Рис. 1. Блок-схема программы перекодировки информации, поступающей с прибора «спектр—код».

лабораторного и звездного спектров, разделяемых специальной диафрагмой на измерительной щели. Квантование по длине волны осуществляется с помощью датчика положений, жестко скрепленного с микрометрическим винтом. Максимальная длина измеряемого участка спектра — 25 мм, минимальный шаг квантования — 0.01 мм. Положения точек, в которых осуществляется преобразование, определяются с ошибкой около 1 м, возможное смещение нуля-пункта при повторном фотометрировании некоторого участка — не более 0.5 м.

Необходимо отметить, что преобразователь «спектр—код» выдает информацию в коде ЭВМ «Минск-22», поэтому потребовалась специальная программа преобразования ее в код ЭВМ «М-222». Блок-схема этой программы приведена на рис. 1.

Программа обработки спектра сравнения обеспечивает:

1) выделение из общего массива прозрачностей чисел, относящихся к эмиссионным линиям лабораторного источника;

2) нахождение точных (в долях шага) положений выделенных линий.

1. При фотометрировании избранного участка спектрограммы массив прозрачностей T_i формируется таким образом, чтобы 10—20 начальных и столько же конечных его членов соответствовали вуали (предполагается, что спектр лабораторного источника не содержит континуума). По этим числам методом наименьших квадратов — в линейном приближении —

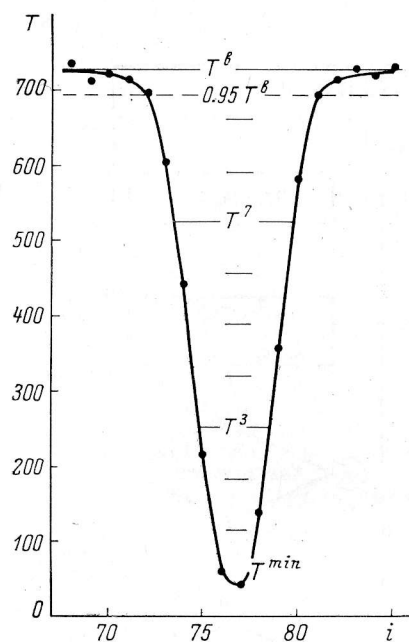


Рис. 2. Локализация и определение положения линии спектра сравнения.

воспроизводится ход прозрачности вуали T_i^B на всем измеряемом участке. Затем осуществляется последовательный просмотр массива, и числа, удовлетворяющие соотношению $T_i < 0.95 T_i^B$ (коэффициент подобран эмпирически), приписываются линии. После того как некоторая линия выявлена, просмотр прерывается на время, необходимое для определения ее положения.

2. Из последовательности T_i , относящейся к некоторой линии, выбирается наименьшее значение T_i^{min} (рис. 2), находят величины

$$T^k = T_i^{min} + k(T_i^B - T_i^{min})/10$$

для $k=3, 4, 5, 6, 7$ и положения соответствующих им точек профиля

$$x = i + |(T_i - T^k)/(T_i - T_{i+1})|.$$

T^k представляют участки профиля с максимальным градиентом прозрачности, наименее подверженные искажающему действию линейной интерполяции и шумов эмульсии; положение линии в целом, понимаемое как среднее из

всех 10 значений x , определяется обычно с ошибкой, не превышающей 2 μ . На печать выводятся положения всех выявленных линий и кроме того, для каждой из них — по 5 положений на различных уровнях T^k . Последние позволяют корректировать или отбраковывать данные, относящиеся к асимметричным линиям. Блок-схема этой программы приведена на рис. 3.

Программа обработки спектра звезды предусматривает введение в ЭВМ вместе с массивом прозрачностей T_i^* :

а) положений и длин волн линий лабораторного спектра с указанием, какой функцией — линейной или квадратичной (в зависимости от величины спектрального интервала и числа линий) — следует аппроксимировать дисперсионную кривую;

б) Δi , фиксируемого при фотометрировании числа шагов между нульпунктами звездного и лабораторного спектров;

в) характеристической кривой эмульсии, представленной 30 значениями интенсивностей I_n , допускающими линейную интерполяцию при определении промежуточных значений I и соответствующими известным уровням прозрачности, а также величин некоторых из параметров, определяемых ниже.

Эта программа обеспечивает:

1) установление границ между линией и непрерывным спектром и уровня прозрачности последнего как функции номера шага T_i^{nc} ;

2) получение профиля линии, ее фотометрических параметров и длины волны как функции остаточной интенсивности.

1. От начала и конца массива T_i^* отсчитывается по l (чаще всего по 30) чисел. По ним методом наименьших квадратов воспроизводится ход среднего уровня прозрачности в непрерывном спектре $T_i^{нс1}$ и находятся отклонения этих же чисел от соответствующих значений $T_i^{нс1}$. Максимальное

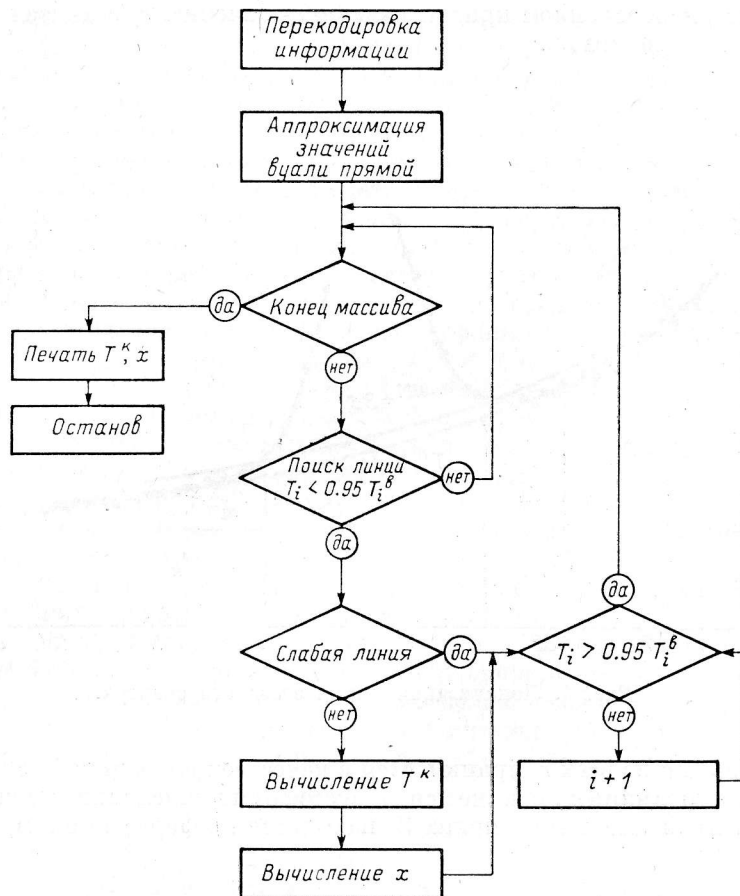


Рис. 3. Блок-схема программы обработки спектра сравнения.

(по модулю) из этих $2l$ отклонений σ вводится в условие принадлежности некоторого члена массива T_i^* к линии

$$(T_i^* - T_i^{нс1}) > 3\sigma.$$

Такая процедура вполне достаточна для локализации линий спектра сравнения, здесь же она используется лишь как первое приближение. Для того чтобы не потерять информации о крыльях линии, к последовательности T_i^* , выделенной в первом приближении, с обеих сторон добавляется по m соседних значений. Синяя и красная границы линии фиксируются номерами шагов i_c и i_k соответственно (рис. 4). Оставшаяся часть массива позволяет заново установить ход прозрачности непрерывного спектра $T_i^{нс2}$. Выбор величины m основывается на предварительной информации о профиле исследуемой линии, если же таковая отсутствует, просчитывается несколько вариантов.

Функции $T_i^{нс1}$ и $T_i^{нс2}$ находятся в линейном либо в квадратичном приближении: первое более надежно и в большинстве случаев достаточно, второе используется лишь изредка (исследуемая линия — на границе рабочей области спектра, на крыле водородной линии и т. д.).

2. Значения T_i^* , отнесенные к линии, и соответствующие им значения $T_i^{нс2}$ преобразуются с помощью характеристической кривой в интенсивности I_i^* и $I_i^{нс}$, а затем то и другое — в остаточные интенсивности r_i . С помощью дисперсионной кривой каждому значению r_i ставится в соответствие длина волны λ_i .

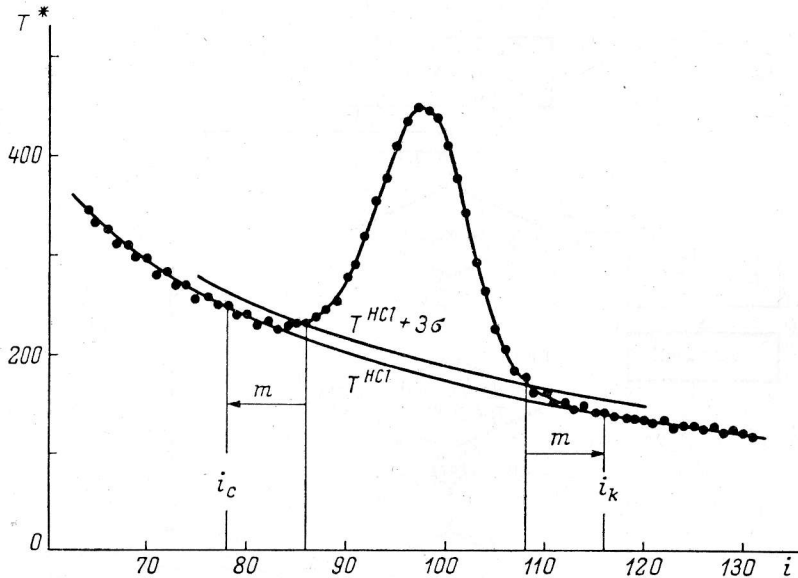


Рис. 4. Локализация линии звездного спектра.

Наименьшая из всех r_i принимается в качестве центральной остаточной интенсивности линии r_0 , она же используется при вычислении полуширины линии $\Delta\lambda$. Эквивалентная ширина W находится по формуле прямоугольников:

$$W = \sum_{i=i_c}^{i_k} r_i (\lambda_{i+1} - \lambda_i).$$

Длины волн линии λ_n отыскиваются на 20 уровнях остаточной интенсивности r_n , размещенных равномерно от r_0 до 1 тем же способом, что и положения линий спектра сравнения. На печать выводятся величины r_0 , $\Delta\lambda$ и W и массивы r_i , λ_i , r_n и λ_n . Зависимости $r_i(\lambda_i)$ и $r_n(\lambda_n)$ могут быть также представлены графически. Блок-схема программы дана на рис. 5.

Испытание вычислительных программ. Предлагаемая методика машинной обработки участков спектрограмм с изолированными линиями была опробована на спектрограмме звезды-сверхгиганта α Суг спектрального класса A2 Ia с дисперсией 4 Å/мм, полученной на эмульсии Kodak 103 aO с помощью кудэ-спектрографа двухметрового рефлектора ШАО АН АзербССР. Контрольные результаты получались без применения какой-либо автоматизации (вручную) на шнель-фотометре фирмы К. Цейсс (ГДР).

Описанные выше программы оказались вполне пригодными для практического использования. Не замечено снижения точности измерения интенсивностей и положений по сравнению с той, которую обеспечивает фо-

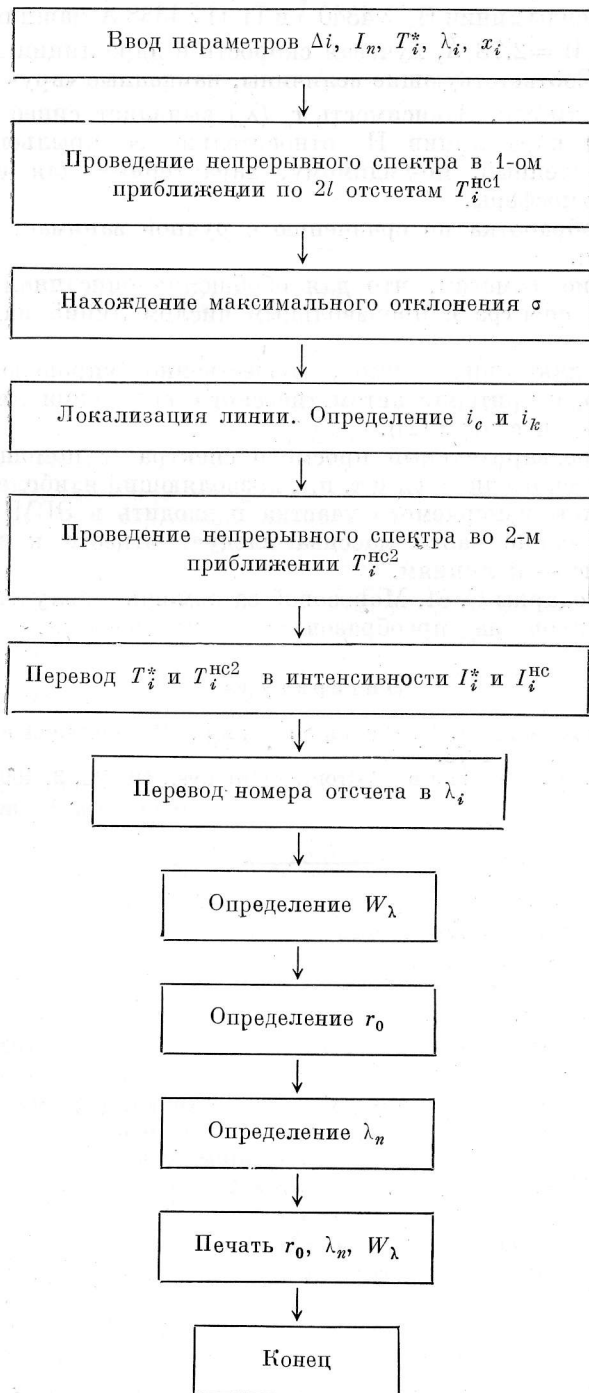


Рис. 5. Блок-схема программы обработки спектра звезды.

топластинка; получаемые по ним данные практически совпадают с контрольными.

Так, для бленды линий H_γ λ 4340 Å и Ti II λ 4338 Å машинная обработка дала $r_0=0.287$, $W=2.73$ Å, лучевая скорость в ядре линии H_γ составляет -9.45 км/сек. Соответствующие величины, найденные «вручную», — 0.29 , 2.72 Å и -9.5 км/сек. Зависимость $r_n(\lambda_n)$ выявляет синее смещение (на $1.5-2$ км/сек.) ядра линии H_γ относительно ее крыльев — реальный эффект, обусловленный, по-видимому, характерным для сверхгигантов расширением атмосферы.

Машинная обработка по сравнению с ручной занимает в $10-20$ раз меньше времени.

В заключение отметим, что для обобщения описанной методики на случай участка спектра с произвольным числом линий намечаются два пути.

Первый — фильтрация шумов, существенно упрощающая спектр, а следовательно, и критерии автоматического выделения линий и континуума (см. в связи с этим [2]).

Второй — предварительный просмотр спектра (с помощью регистрограммы, графического дисплея и т. п.), позволяющий наиболее оптимально выбирать границы измеряемого участка и вводить в ЭВМ информацию, указывающую, какие части массива следует отнести к непрерывному спектру и какие — к линиям.

Авторы благодарны С. М. Морозовой за помощь в получении исходных числовых массивов на преобразователе «спектр—код».

Литература

1. А. Г. Мельников, М. П. Грановский, Механизация и автоматизация управления, № 1, 78, 1973.
2. L. Rusconi, G. Sedman, Astron., Astrophys., 10, No. 3, 469, 1971.