

ОБРАБОТКА ЗВЕЗДНЫХ СПЕКТРОВ. II

Н. Ф. Войханская, И. И. Назаренко

Описывается комплекс программ, позволяющий быстро провести полную обработку спектров и получить спектральные характеристики, необходимые для астрофизического анализа, такие как абсолютное распределение энергии в континууме, интенсивности линий, бальмеровские и гелиевые декременты, лучевые скорости и пр. Рассмотрены некоторые типичные источники ошибок, возникающие при обработке спектров.

A set of programs for quick spectrum processing and obtaining spectral characteristics necessary for astrophysical analysis, such as absolute energy distribution in continuum, line intensities, Balmer and helium decrements, radial velocities and etc. is described. Some typical errors of the spectrum processing are considered.

Со времени опубликования первой статьи [1], в которой описывались программы обработки, работа значительно продвинулась. Это продвижение шло по двум направлениям. Во-первых, создавались новые программы, которые будут описаны ниже, а во-вторых, совершенствовались старые, так как эксплуатация выявила их отдельные недостатки. В настоящее время создание комплекса обрабатывающих программ в основном завершено. С его помощью можно быстро обработать большое количество спектров и получить исходные спектральные характеристики, которые необходимы для астрофизического анализа, такие как абсолютное распределение энергии в континууме, интенсивности и эквивалентные ширины линий, ширины линий на любом уровне интенсивности и центральные интенсивности, бальмеровские и гелиевые декременты, лучевые скорости и др. Хотя программы создавались для обработки непрямолинейных звездных спектров, они могут применяться и не раз применялись для обработки любых спектров независимо от способа их получения. Специфичной является только программа сканирования. Ее можно применять и для записи высокодисперсных длинных спектров, однако это неразумно, так как очень удлиняет время сканирования.

В литературе описано большое количество программ по обработке звездных спектров. Особенности конкретных программ определяются в первую очередь использованной авторами вычислительной техникой. Отсутствие у многих советских авторов графического дисплея приводит к «работе вслепую». Это, в свою очередь, ведет к усложнению алгоритмов, необходимости дополнительного контроля в виде многочисленных распечаток и зарисовок, которые авторами анализируются вручную, что, в конечном счете, удлиняет процесс обработки и не позволяет осуществить его действительную автоматизацию. И наоборот, наличие графического дисплея позволяет организовать работу в интерактивном режиме, при котором пользователь может активно вмешиваться в процесс обработки, контролировать его, оперативно принимать решения.

При спектральных исследованиях точность закладывается во время наблюдений. Требования к спектрографам и методике наблюдений общеизвестны, поэтому мы их повторять не будем. Задача последующего процесса обработки заключается в том, чтобы не потерять достигнутую во время наблюдений точность и внести минимум дополнительных ошибок. Более подробно об этом говорится далее при описании конкретных этапов обработки. Пока же перечислим требования к программам массовой обработки спектров: тщательно продуманный и протестированный алгоритм, простота и четкость его исполнения, быстродей-

ствие, наибольший сервис для наблюдателя. Последнее предполагает максимальную автоматизацию, так как многократное повторение вручную одних и тех же, даже простых, операций утомляет, приводит к ошибкам и замедлению обработки.

Описываемый комплекс программ обработки включает следующее:

- сканирование на АМД непрямолинейных звездных спектров на носителе с прозрачной основой;
- построение характеристической кривой;
- отождествление спектров сравнения;
- построение дисперсионной кривой;
- линеаризацию спектра;
- суммирование любого количества спектров;
- состыковку разных участков спектра;
- умножение и деление спектра на любое число или на другой спектр, перевод спектра;
- построение кривой реакции регистрирующей системы;
- исправление (редукция) спектра за кривую реакции;
- проведение континуума;
- тиражирование континуума;
- нормировку спектра на континуум;
- аппроксимацию контуров линий и расчет параметров линий;
- определение бальмеровского скачка;
- расчет лучевых скоростей;
- построение кривой блеска.

Эти программы работают независимо друг от друга. Обмен данными между ними происходит через определенную структуру информационных массивов, записанных на диске. Все основные программы написаны на языке Фортран IV, часть вспомогательных — на Макроассемблере СМ-4. Общий объем операторов составляет 6200 на Фортран IV и 2100 — на Макроассемблере. При разработке этого комплекса программ осуществлен интерактивный принцип, т. е. в каждой программе используется как диалоговый, так и командный режимы функционирования при регулярном отображении результатов на графическом дисплее. Для работы с дисплеем на Макроассемблере написана подпрограмма, которая формирует индицируемые массивы таким образом, чтобы полнее использовать возможности программирования на машинном уровне многочисленных внутренних режимов работы монитора дисплея. Внутренняя организация данного комплекса программ обеспечивает сохранение способности продолжать работу после обнаружения какой-либо ошибки. С этой целью создана система подпрограмм защиты от ошибок, которая анализирует возникающие ошибки, выдает сообщение о них на терминал и принимает соответствующие меры.

Первичная обработка спектра заканчивается получением линеаризованного редуцированного спектра и занимает до 8—10 мин. В подсчет времени не включены сканирование и операции, требующие от пользователя творческого подхода, в которых основное время уходит на сравнение различных возможных вариантов и выбор наиболее подходящего. Процесс обработки можно прервать на любом этапе и затем продолжить через некоторое время.

Первые шесть программ описаны в [1]. Изменения, внесенные в них, носят чисто сервисный характер. Одним из основных источников дополнительных ошибок при обработке может стать сканирование спектра. Некоторые наблюдатели при сканировании используют очень узкие щели, чтобы повысить разрешение. Однако при этом сильно возрастает амплитуда шумов, обусловленных гранулярностью фотоматериала. Среднеквадратичное отклонение σ при измерении плотностей со щелью площади S равно:

$$\sigma = G/\sqrt{S}, \quad (1)$$

где G — характерная гранулярность фотоматериала. Поэтому ширина щели микрофотометра ограничена, с одной стороны, необходимостью уменьшить амплитуду высоких пространственных частот, а с другой — стремлением не потерять разрешения в спектре. Практически ширину сканирующей щели ра-

зумно выбирать равной половине элемента разрешения в спектре. Последний вычисляется из условий наблюдений. Возможность увеличивать площадь щели за счет увеличения высоты тоже ограничена. С увеличением высоты щели возрастают ошибки, обусловленные перекосом щели и ухудшением качества изображения концов щели оптикой микрофотометра. Поэтому при очень широких спектрах разумнее сделать несколько сканов щелью меньшей высоты и сложить эти сканы. Можно подавлять шумы в спектре, применяя фильтрацию уже просканированного спектра. Однако эта процедура содержит большую долю произвола при определении границы отбрасываемых частот. Поэтому, если есть возможность подавить шум путем сложения однотипных спектров и некоторого увеличения ширины щели микроденситометра при сканировании спектра, то этот путь предпочтительнее. Частота считывания отсчетов в микроденситометре задается шагом сканирования. Его следует выбирать равным ширине щели. При большем шаге есть опасность потерять в спектральном разрешении. При меньшем — дополнительные отсчеты не несут новой информации, но занимают память машины.

При построении дисперсионной кривой основным источником ошибок является качество спектра сравнения. Он должен содержать достаточное количество чистых, неблендированных линий.

В случае блендирования линии трудно приписать эффективную длину волны, так как соотношение интенсивностей компонент бленды может меняться. Для оценки точности построения дисперсионной кривой обычно используют величину отклонения $\Delta\lambda$, т. е. разницу между известной длиной волны линии (λ_0) и определенной по дисперсионной кривой ($\lambda_{изм}$):

$$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda_{изм}. \quad (2)$$

При малом количестве опорных линий кривую по ним провести легко и

уклонения отдельных точек всегда малы. Проведенный нами численный эксперимент показал, что алгоритм проведения кривой при этом не имеет решающего значения. Когда точек было мало, отклонения всегда были малы. Форма кривой при этом может значительно отличаться от истинной. В случае малого количества опорных линий точность дисперсионной кривой должна оцениваться или по линиям, не участвующим в построении дисперсионной кривой, или путем определения лучевых скоростей звезд — лучевых стандартов. На рис. 1 сравнены отклонения $\Delta\lambda$ при разном количестве использованных опорных линий. Это сравнение сделано для одного и того же спектра. Видно, что при уменьшении числа линий вдвое, величина отклонения уменьшилась в 4 раза.

Состыковка разных участков спектра производится в случае частичного перекрытия этих участков. По перекрывающейся части определяется коэффициент изменения масштаба одного из спектров по интенсивности, чтобы он совпал с другим спектром. После приведения спектров к одному масштабу перекрывающиеся части суммируются и усредняются. Состыковка производится после линеаризации и редукции спектров.

Умножение и деление спектров, переворот спектра. Первые две операции не требуют пояснения. Переворот спектра состоит в том, что отсчеты перенумеровываются и меняются местами в памяти машины так, что последняя точка становится первой, предпоследняя — второй и т. д. Программа линеаризации спектра располагает все спектры одинаковым образом: спектр начинается с коротких длин волн и кончается длинными. Такое единообразие удобно для дальнейшей обработки. Но иногда бывает выгоднее перевернуть спектр заранее, до линеаризации. Для этого и создана программа переворота спектра.

Построение кривой реакции. Регистрируемое в наблюдениях распределение энергии в спектре искажено вследствие ряда причин. Их общее действие можно учесть, введя некую функцию $\varphi(\lambda)$, которая называется кривой реакции.

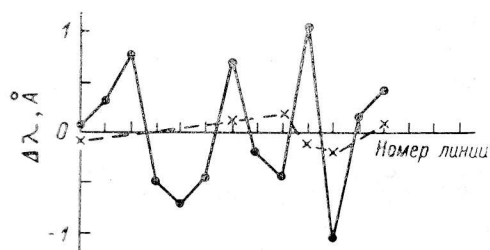


Рис. 1. Сравнение величины отклонений при разном числе опорных линий в одном и том же спектре.

Если истинное неискаженное распределение энергии в спектре обозначить $I_0(\lambda)$, а наблюдаемое распределение $I_n(\lambda)$, то очевидно соотношение

$$I_n(\lambda) = I_0(\lambda) \varphi(\lambda). \quad (3)$$

Для определения $\varphi(\lambda)$ во время наблюдений обязательно получаются спектры звезд — фотометрических стандартов, которые затем обрабатываются обычным образом до получения линейаризованного спектра. Наша программа ориентирована на использование списка стандартов [3], где указаны внеатмосферные потоки в избранных интервалах длин волн шириной $\Delta\lambda$. Эти данные занесены в информационные массивы. Так как обрабатываемый спектр обычно охватывает меньший интервал длин волн, то при обращении к информационным массивам программа производит поиск табличных длин волн, попадающий в исследуемый интервал. Затем для наблюдаемого спектра фотометрического стандарта вычисляются величины ΣI_i в интервале от $\lambda_i - \Delta\lambda/2$ до $\lambda_i + \Delta\lambda/2$. Это дает

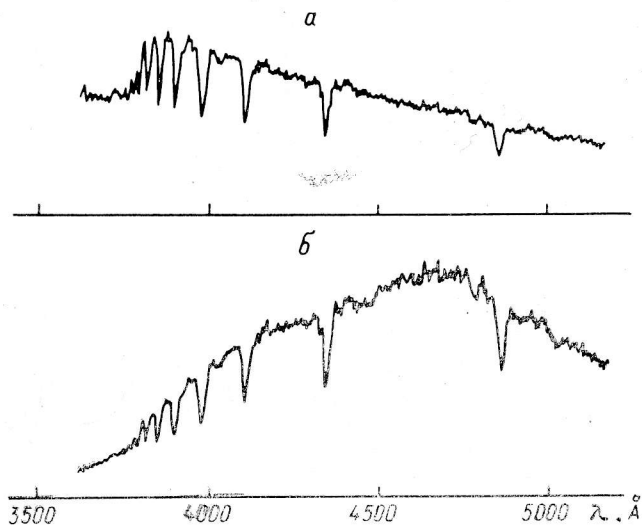


Рис. 2. Спектры звезды F 92 до редукции (б) и редуцированный (а).

I_n для соответствующих длин волн λ_i . Используя (3), получаем $\varphi(\lambda_i)$, т. е. ряд точек на кривой реакции. Через эти точки проводится плавная кривая методом интерполяции полиномами Эрмита.

Найденные точки $\varphi(\lambda_i)$ и аппроксимирующая кривая $\varphi(\lambda)$ высвечиваются на экране графического дисплея. При необходимости расширить рабочий участок длин волн экстраполяция кривой $\varphi(\lambda)$ производится полуавтоматически с контролем и уточнением формы кривой на экране дисплея.

Работа программы организована в двух режимах: диалоговом и командном. В диалоговом режиме производятся операции до получения отдельных точек кривой $\varphi(\lambda_i)$. В командном режиме можно вызвать на экран точки $\varphi(\lambda_i)$, аппроксимирующую кривую, указать дополнительные точки по краям для экстраполяции кривой, распечатать на терминале и принтере любые массивы как исходных данных, так и создаваемых в процессе работы программы. Полученная кривая реакции в табличном виде записывается на диск и используется в дальнейшем для редукции спектров исследуемых объектов.

Редукция спектра за кривую реакции. Зная $\varphi(\lambda)$ и $I_n(\lambda)$, вычисляем абсолютное распределение энергии в спектре исследуемого объекта $I_0(\lambda)$. Рис. 2 демонстрирует результат работы программы редукции спектров. На нем показаны два линейаризованных спектра звезды 92: один — в инструментальной системе, а второй — исправленный за кривую реакции (редуцированный). Для выполнения редукции кроме спектра F 92 получались спектры еще одного фотометрического стандарта. Последний использовался для построения кривой реакции $\varphi(\lambda)$, с помощью которой исправлялся спектр F 92. Для проверки работы программы редукции аналогичная процедура производилась над парами звезд, выб-

ранними из каталога [2]. Сравнение полученного распределения с каталожным показало хорошую точность: расхождения составляли 5—7 % и возрастали до 10—15 % в области короче бальмеровского скачка.

При наблюдениях программных объектов фотометрический стандарт получается 2—3 раза за ночь. Кроме того, часто используются не один, а два стандарта. В процессе обработки результаты сравниваются и затем усредняются.

При использовании в качестве фотометрических стандартов звезд из списка [3] составители программ редукции часто допускают типичную ошибку, состоящую в том, что на наблюдаемом спектре проводят континуум и отсчеты снимают по континууму. Легко видеть, что если в измеряемом интервале длин волн имеются линии, то снятый по континууму отсчет отличается от того, что измеряется в [3]. Поэтому при использовании горячих звезд ошибка будет быстро нарастать к синему концу спектра и может составить 80 % и более. При использовании поздних звезд ошибка будет велика по всему спектру.

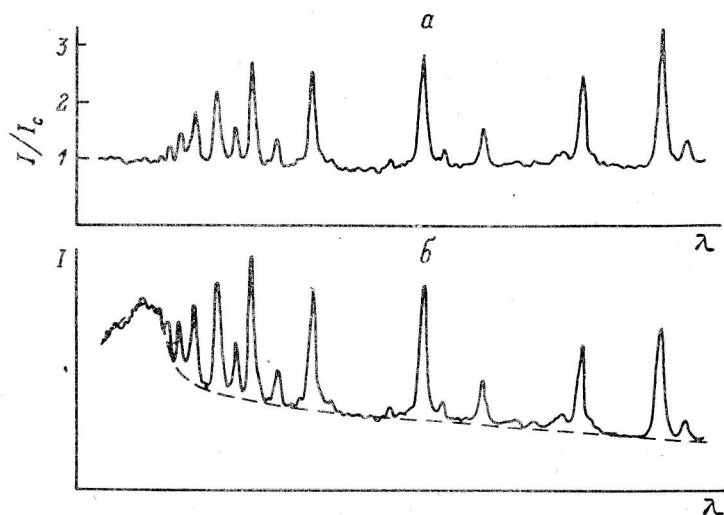


Рис. 3. Пример проведения континуума на редуцированном спектре (б).

а — тот же спектр, нормированный на континуум.

Проведение континуума. Для проведения континуума использован традиционный алгоритм: указываются участки непрерывного спектра, через которые проводится плавная кривая. Континуум может быть проведен как на редуцированном, так и на нередуцированном спектре.

Работа ведется на экране графического дисплея в интерактивном режиме. Для указания участков непрерывного спектра используется подвижная прямоугольная рамка. Ее перемещение по изображению спектра и другие манипуляции с ней осуществляются по командам, подаваемым с терминала. Рамка устанавливается на участок континуума, затем ее ширина плавно изменяется и подбирается равной ширине этого участка. Программа вычисляет среднее значение интенсивности из отсчетов спектра, попавших внутрь рамки. Это среднее и граничные длины волн данного участка записываются в создаваемую программой таблицу точек непрерывного спектра и графически отмечаются на экране дисплея. Неоднократное повторение этой процедуры позволяет указать достаточное количество точек непрерывного спектра. Кроме того, в программе созданы возможности указания точек, лежащих вне записи спектра. Во время работы можно убрать любую из ранее отмеченных точек и вставить новые точки. После указания всех точек непрерывного спектра он аппроксимируется Эрмитовыми полиномами и высвечивается на экране дисплея. Если проведенный континуум признан неудовлетворительным, то процедура проведения может быть повторена начиная с любого момента. Результатом работы программы является таблица участков непрерывного спектра и континуум, которые записываются на диск и могут быть выданы на печать.

Пример проведения континуума показан на рис. 3. Распространенной ошибкой при составлении программ проведения континуума является использование разного рода сплайнов. Последние дают всегда волнистую линию. Для уменьшения амплитуды колебаний этой линии приходится принимать специальные меры, что делает проведение континуума субъективным и менее точным.

Тиражирование непрерывного спектра. На практике довольно часто приходится обрабатывать большое количество однотипных спектров, для которых с большой вероятностью можно предположить одинаковую форму континуума. В таком случае, как известно, важно выдержать единую манеру проведения континуума. Этой цели служит описываемая программа.

Вначале все однотипные спектры складываются. В полученном суммарном спектре шумы гораздо меньше и хорошо видны все детали линейчатого спектра. Это позволяет очень уверенно провести на нем континуум. Далее этот континуум как лекало прикладывается к индивидуальным спектрам. Делается это следующим образом. В таблице точек непрерывного спектра, созданной предыдущей программой, отмечается одна, которая в дальнейшем называется главной. В каждом индивидуальном спектре для интервала длин волн главной точки вычисляется средняя интенсивность, как в предыдущей программе. Отношение средних интенсивностей индивидуального и суммарного спектров в этой точке дает коэффициент изменения масштаба по интенсивности для непрерывного спектра, проведенного по суммарному спектру. Индивидуальный спектр вместе с проведенным путем масштабирования континуумом отображаются на экране дисплея. Эта процедура применяется ко всей серии спектров. Результаты записываются на диск и используются в дальнейшей работе.

Нормировка на континуум производится обычным образом: интенсивность в спектре делится на интенсивность в континууме по точкам (рис. 3). Результат высвечивается на экране дисплея и записывается на диск.

Аппроксимация контуров и вычисление параметров спектральных линий. Для расчета параметров спектральной линии ее контур необходимо предварительно обозначить для освобождения от влияния блендирующих линий, а также достроить до слияния с континуумом с учетом физических механизмов, уширяющих линию. С этой целью производится частичная аппроксимация контура фойгтовскими функциями. При этом исключаются центральные части линии с интенсивностью более 0.8 центральной интенсивности. Используется набор рассчитанных фойгтовских профилей из [4], которые в табличном виде включены в программу.

Описываемая программа работает с нормированным на континуум спектром. Сначала с диска в память ЭВМ считываются необходимые информационные массивы, после чего программа переходит в командный режим работы. Вся работа по выполнению аппроксимации ведется на экране дисплея, для чего создан широкий набор внутренних команд программы, которые подаются с терминала системы.

Специальными командами указывается участок спектра, который высвечивается на экране в большом масштабе вместе с линией непрерывного спектра. Программа определяет центральную интенсивность линии и ее полуширину, после чего пересчитывает фойгтовские профили в соответствии с характеристиками данной линии. Далее по командам с терминала выбирается наиболее подходящий профиль. Так как линии часто бывают асимметричны, то аппроксимация правой и левой частей линии может быть сделана независимо. В простых случаях, когда обрабатываются слабые линии, их крылья возможно аппроксимировать прямыми. На рис. 4 показан пример аппроксимации.

После выполнения аппроксимации программа вычисляет следующие параметры линий: эквивалентные ширины и величину ошибки, относительные интенсивности, полуширины и центральные интенсивности — и выдает их в виде таблицы на терминал и печать. Кроме того, может быть вычислена ширина линии на любом уровне интенсивности.

Для вычисления ошибки определения эквивалентной ширины сразу после окончания аппроксимации на спектре указывается участок чистого континуума, желательно рядом с линией. Программа вычисляет амплитуду шума в континууме ΔI_{κ} (по указанному участку) и на контуре линии ΔI_{λ} . Считая для про-

стоты линию треугольником, нетрудно показать, что относительная ошибка эквивалентной ширины

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta I_{\text{к}} + \Delta I_{\text{л}}}{I_{\text{л}}} + \frac{\Delta I_{\text{к}}}{I_{\text{к}}}, \quad (4)$$

где $I_{\text{л}}$ — высота линии над уровнем континуума. Представление линии более сложной, чем треугольник, фигурой не меняет выражения для относительной ошибки. В (4) не учтены еще два источника ошибок: неточное знание величины дисперсии и величины основания линии. Первая из них всегда мала, а вторая может быть заметной. Оценку ее величины можно сделать в процессе аппроксимации. Все величины, входящие в (4), программа определяет, а затем вычисляет W и ΔW . Первое слагаемое в (4) мало для сильных линий и велико для слабых. Второе является величиной, обратной отношению сигнал/шум и отражает известный факт, что для получения малой ошибки необходимо получать спектры с большим ОСШ.

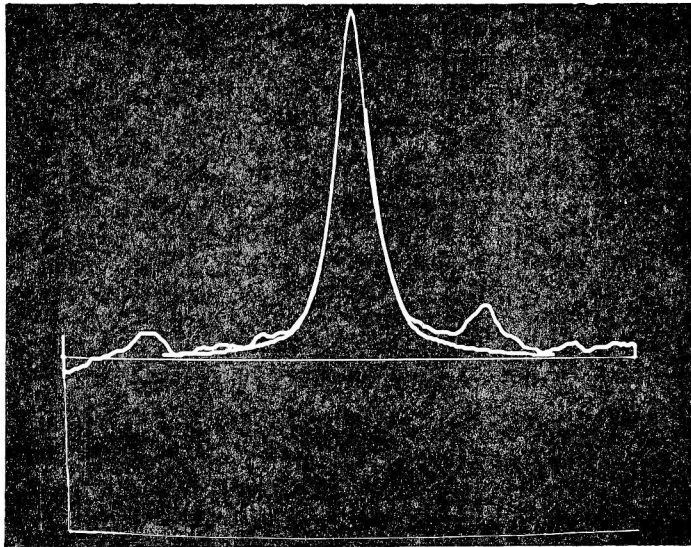


Рис. 4. Пример аппроксимации контура линии.

Определение бальмеровского скачка производится по редуцированному спектру, который высвечивается на экране дисплея. С помощью подвижной рамки указываются участки спектра по обеим сторонам от скачка. Внутри отмеченных участков вычисляется средняя интенсивность и далее определяется величина скачка

$$D = \log (\bar{I}_{\lambda_0+\Delta\lambda} / \bar{I}_{\lambda_0-\Delta\lambda}),$$

где $\bar{I}_{\lambda_0+\Delta\lambda}$ — средняя интенсивность до скачка; $\bar{I}_{\lambda_0-\Delta\lambda}$ — средняя интенсивность за скачком.

Расчет лучевых скоростей может производиться по любому спектру, как линейаризованному (редуцированному, нередуцированному, нормализованному на континуум), так и нелинейаризованному, эмиссионному и абсорбционному. Все управляющие команды во время работы программы подаются с терминала, а необходимые операции выполняются на экране графического дисплея. На рис. 5 показана фотография с экрана дисплея, поясняющая процесс измерения лучевой скорости.

Измеряемый спектр высвечивается в небольшом масштабе в нижней части экрана дисплея. Вдоль спектра может передвигаться небольшая прямоугольная рамка. Ее высота определяется максимальным и минимальным отсчетами участка спектра, попавшего внутрь рамки, а ширина изменяется пользователем по

своему усмотрению. Рамку можно плавно или скачком перемещать вдоль спектра и останавливать в любом месте. Процесс измерения лучевой скорости состоит из нескольких операций. Вначале программе сообщается длина волны λ_0 несмещенной линии, положение которой собираются мерить. Этим достигается двоякая цель. Во-первых, сообщают программе величину λ_0 , которая будет использована в дальнейшем для вычисления лучевой скорости, а во-вторых, быстро перемещают рамку в нужное место спектра. После установления необходимой ширины рамки ограниченный ею участок спектра высвечивается в большем масштабе на экране дисплея одновременно с его зеркальным изображением.

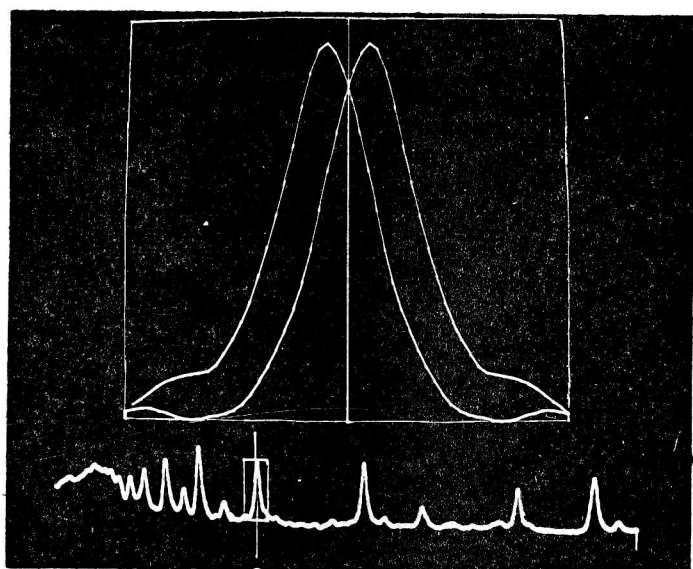


Рис. 5. Измерение лучевой скорости путем совмещения прямого и зеркального контуров линии.

Эти два изображения можно двигать на экране до совмещения контуров линий или их отдельных деталей. После окончания совмещения по команде пользователя на терминал и принтер сообщаются измеренная длина волны и соответствующая ей лучевая скорость.

Эта программа может быть также использована для отождествления линейчатых спектров, так как позволяет определять длины волн линий.

Выше говорилось, что лучевая скорость может быть измерена по нелинеаризованному спектру, в котором номера отсчетов не переведены в длины волн. Процесс измерения при этом аналогичен, но результатом являются положения линий в микронах в спектре исследуемого объекта и в спектрах сравнения. По этим отсчетам обычным образом вычисляется лучевая скорость.

Суммарную величину ошибки, возникающей в процессе наблюдений и обработки, можно оценить, определяя лучевые скорости звезд — лучевых стандартов. Для оценки точности получались спектры лучевых стандартов HD

Объект	Спектральный класс	Прибор	v_r по [5, 6] км/с	v_r измерена, км/с	Примечание
HD 182572	dG7	СП-160	-100.5 ± 0.4	-103 ± 10	Скан длительного накопления (20 мин) Сумма из 10 сканов по 2 мин
HD 182572	dG7	UAGS	-100.5 ± 0.4	-120 ± 60	
HD 186791	K3II	UAGS	-2.1 ± 0.2	-1 ± 75	
HD 213947	K4III	TV-сканер	20.0 ± 0.4	49 ± 59	
HD 213947	K4III	TV-сканер	20.0 ± 0.4	22 ± 41	

182572, HD 186791 и HD 213947, имеющие обычные для их спектральных классов абсорбционные спектры. Величины лучевой скорости для них приводятся в [5, 6]. Список рекомендованных для измерения линий составлен для обратной линейной дисперсии $33 \text{ \AA}/\text{мм}$, а использованная нами дисперсия была примерно вдвое ниже ($50\text{--}60 \text{ \AA}/\text{мм}$). Наблюдения проводились на различной аппаратуре: на спектрографах СП-160 и UAGS с ЭОП УМК-91в и на телевизионном сканере. В первых двух случаях ЭОП и источник спектра сравнения были одни и те же. Для обработки использовались описанные выше программы. Полученные результаты приведены в таблице. Различие полностью определяется качеством аппаратуры, т. е. ошибками, возникающими в процессе наблюдений.

Кривая блеска служит для качественной оценки изменений блеска объекта во время наблюдений. Если получена серия спектров в течение длительного времени, то каждый спектр умножается на кривую реакции UVV-системы и интегрируется в соответствующем интервале длин волн. Полученная кривая не может сравниться по точности с фотоэлектрическими кривыми блеска, но, тем не менее, она полезна при работе.

Дальнейшее развитие созданного комплекса программ предполагается прежде всего в направлении автоматизации процесса астрофизического анализа. Кроме того, будут совершенствоваться созданные программы, расширяться их возможности. Предполагается перевод их на новую технику и в новые современные системы обработки астрономических данных типа MIDAS.

Л и т е р а т у р а

1. Назаренко И. И., Шергин В. С. Обработка непрямолинейных звездных спектров // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1985. 19. С. 109—114.
2. Харитонов А. В., Терещенко В. М., Князева Л. Н. Сводный спектрофотометрический каталог звезд / Алма-Ата: Наука, 1978. 198 с.
3. Stone R. P. S. Spectral energy distributions of standard stars of intermediate brightness // Astrophys. J. 1977. 218. С. 767—769.
4. Hulst H. C. van de, Reesink J. J. M. Line breadths and Voigt profiles // Astrophys. J. 1947. 106. С. 121—127.
5. Pearce J. A. Report of sub-commission 30a on standard velocity stars // Trans. of the IAU. 1955. 9. С. 441—443.
6. MacRae D. A. Proposal by Heard for 9th magnitude standard stars // Trans. of the IAU. 1967. 13B. С. 169.

Поступила в редакцию
21 июля 1988 г.