

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Коровяковская, Ю. П. Коровяковский

Комплекс программного обеспечения для обработки спектров ориентирован на аппаратные средства, включающие ЭВМ М-222, ЭВМ Э100И, универсальный дисплей УГД-43, линию связи, планшетные графопостроители, системы ввода информации в ЭВМ. Оцифровка спектров может производиться на автоматическом микроденситометре АМД-1, микрофотометре с цифровым выводом «Спектр—Код» или преобразователем «График—Код».

Проведенные испытания комплекса программ при обработке реальных спектров небесных объектов (ρ Leo, Cyg-X1, HD 147010) показали хорошее согласие «машинных» и «ручных» параметров спектральных линий.

Software complex for spectrum processings is made for hardware including computers: M-222, E100I, UGD-43, a communication line, XY plotters, systems of information input into the computer. The spectra are digitized with AMD-1, microphotometer with digital output «Spectrum—Code», converter «Graphic—Code».

The tests of a complex of programs carried out in the processing of real spectra of celestial objects (ρ Leo, Cyg-X1, HD 147010) showed a good agreement of «computer» and «manual» parameters of spectral lines.

Появление микрофотометров с цифровым выходом, разработка микроденситометров, сопряженных с мини-ЭВМ, широкое внедрение в практику эксперимента универсальных электронно-лучевых графических дисплеев и высокоточных графопостроителей стимулировали работы в области автоматизации обработки спектров небесных объектов. В последние годы создан ряд обрабатывающих центров [1—8], оснащенных высокоточными микроденситометрами (как правило, PDS), системами отображения информации, развитым математическим обеспечением.

Основная трудность, встречающаяся при традиционной обработке спектров небесных объектов, — проведение уровня непрерывного спектра. Если для спектров звезд ранних спектральных классов эта процедура с той или иной степенью точности поддается полной автоматизации [9, 10], то для звезд поздних спектральных классов процесс проведения уровня непрерывного спектра полностью автоматизировать не удастся.

Одно из возможных решений этой проблемы — включение в обрабатывающий комплекс средств взаимодействия экспериментатора и ЭВМ в режиме диалога. Экспериментатор, используя опыт и интуицию, подсказывает ЭВМ, каким образом и через какие точки должен проходить уровень непрерывного спектра. Для реализации такого режима необходимо в систему обработки включить средства быстрой графической визуализации информации с обратной связью.

В Специальной астрофизической обсерватории создан комплекс аппаратных и программных средств, реализующих диалоговую обработку спектров любых небесных объектов. Ядро комплекса составляет ЭВМ М-222, соединенная линией связи с мини-ЭВМ Э100И.

ЭВМ Э100И оснащена универсальным графическим дисплеем УГД-43, накопителями на магнитной ленте. В состав комплекса входят графопостроители двух типов: рулонный с рабочим полем 42×8000 см, планшетный с размерами рабочего поля 80×80 см.

Созданы подпрограммы, включенные стандартным образом в математическое обеспечение ЭВМ М-222, позволяющие вводить оцифрованную информацию с разных микрофотометров.

Взаимодействие экспериментатора с комплексом осуществляется через УГД с помощью обслуживающей дисплейной системы (ОДС) [10]. Интерфейсы связи устройств и ЭВМ, входящих в комплекс, разработаны и осуществлены инженерами вычислительного центра САО.

Комплекс программного обеспечения обработки спектров небесных объектов позволяет визуализировать исходную оцифрованную информацию и результаты обработки на графопостроителях и дисплее, вводить и перекодировать в код М-222 исходную информацию и буферизовать ее на магнитной ленте, построить в диалоговом режиме характеристическую кривую фотоэмульсии, фильтровать исходную информацию широким набором фильтров, осуществлять перевод плотностей в интенсивности и остаточные интенсивности, проводить уровень непрерывного спектра, строить дисперсионную кривую, переводить номера отсчетов в длины волн, определять основные параметры спектральных линий (эквивалентную ширину, центральную остаточную интенсивность, длину волны середины линии на различных уровнях остаточной интенсивности, полуширины).

В настоящей работе описаны алгоритмы, реализующие автоматизированную обработку спектров небесных объектов в диалоговом режиме. Комплекс программ написан на алгоритмическом языке АЛГОЛ-60 в рамках транслятора ТА-1М и командах ЭВМ М-222.

Ввод информации в ЭВМ М-222. В настоящее время в САО для обработки спектров используется несколько микрофотометров, которые либо имеют непосредственно цифровой вывод результатов измерений на носитель в цифровом виде, либо оцифровка регистрограммы, полученной на шнельфотометре, производится на преобразователе «График—Код». К сожалению, оцифровка разными преобразователями производится в отличном друг от друга коде, не совпадающем с представлением числовой информации в ЭВМ М-222. Авторами и сотрудниками ВЦ САО созданы программы перекодировки цифровой информации, поступающей с любого микрофотометра, в код ЭВМ М-222.

Кроме того, информация, вводимая в ЭВМ М-222, имеет разнообразную структуру (плотности, пропускания) и содержится на различных типах носителей (магнитные ленты, перфоленды). Вследствие этого нами было принято решение о стандартизации входной информации, которая заключается в следующем: цифровая информация, поступающая с микрофотометров, перекодируется в код ЭВМ М-222, разбивается на блоки по 1024 кода (максимальная длина массива индикации на экране дисплея) и записывается на магнитную ленту; на алфавитно-цифровом печатающем устройстве и карточном перфораторе выдается паспорт информации. Паспорт содержит следующие сведения об информации: вид информации (спектр звезды, спектр сравнения, спектр стандарта), количество разбиения информации на 1024 кода (число зон на магнитной ленте), номер зоны, с которой начинается информация, длина информации в последней зоне, название объекта. После проведения этого этапа во всех дальнейших процедурах обработки используются сформированные описанным способом буферная магнитная лента и управляющие перфокарты (паспорта). Визуализация измерений и результатов обработки производится на планшетном графопостроителе ДРП-3, рулонном графопостроителе ДГУ-2 и универсальном графическом дисплее УГД-43. Инженерные разработки по подключению устройств к комплексу были осуществлены инженерами ВЦ САО. Программное обеспечение осуществлено авторами и сотрудниками ВЦ САО. Подпрограммы визуализации информации включены стандартным образом в математическое обеспечение ЭВМ М-222. На графопостроителях возможно выдавать в любом месте рабочего поля координатные оси или квадранты осей, координатные рамки, символьную информацию трех размеров; вывод графика можно осуществить точками, линией, штриховой линией с заданным размером штриха. Кроме того, можно приводить разную информацию к одному масштабу. Возможности визуализации на УГД-43 описаны в [10].

Как правило, после выполнения процедуры стандартизации спектральной информации производится ее визуализация на планшетном графопостроителе. По графикам для ускорения дальнейшей обработки и сокращения машинного времени можно провести отождествление линий спектра сравнения, отметить точки уровня континуума, проконтролировать работу микрофотометров для

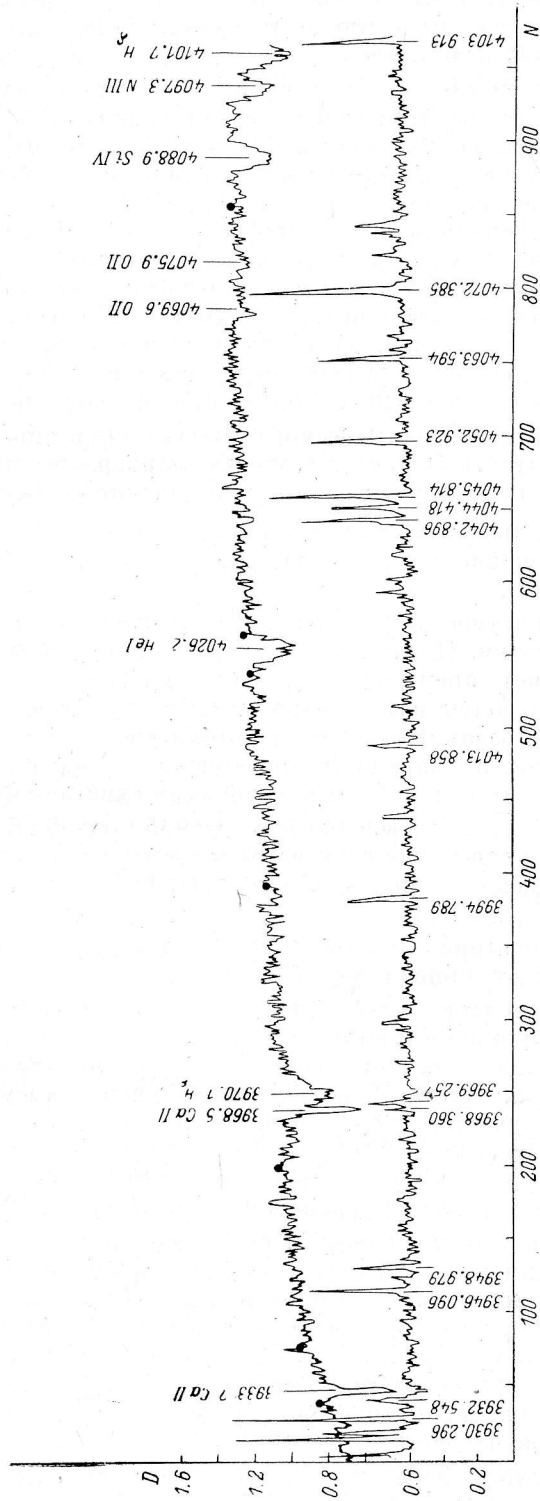


Рис. 1. Пример визуализации участка спектра рентгеновского источника Cyg-X1 с разметкой предполагаемого уровня непрерывного спектра (кружочки) относительно линий звезды и стандартных линий спектра сравнения.

последующей корректировки измерений с помощью дисплейной обслуживающей системы. На рис. 1 приведен пример визуализации участка спектра (любезно предоставленного нам Р. Н. Кумайгородской) рентгеновского источника Cug-X1 с ручной разметкой предполагаемого уровня непрерывного спектра, отождествлением линий звезды и стандартных линий спектра сравнения. Этот этап работы может быть и опущен.

Построение характеристической кривой производится с помощью дисплейной обслуживающей системы. При разработке алгоритма не было сделано привязки к какой-либо конкретной шкалке. Предполагалось, что шкалка может быть со ступенями, разделенными участками вуали и неразделенными ими. Оцифровка фотометрического разреза может быть получена на тех же приборах, что и спектральная информация. Ввод оцифрованной информации может быть осуществлен с перфоленты, магнитной ленты, с перфокарт (усредненные значения ступеней) как в почернениях, так и в плотностях. Введены ограничения, накладываемые объемом оперативной памяти ЭВМ М-222 и количеством адресуемых точек на экране дисплея: а) длина записи одного фотометрического разреза ≤ 10000 отсчетов; б) число фотометрических разрезов для построения одной кривой ≤ 8 ; в) число ступеней на калибровочной шкале ≤ 50 .

Информация каждого фотометрического разреза высвечивается на экране дисплея. Экспериментатор выделяет с помощью маркера участки на ступенях для усреднения. Далее на этих участках отбраковываются дефекты по критерию $> 2 \overline{\Delta D}$, вычисляются значения для каждой ступени D , ΔD , σ^2 и выводятся на печать (эти данные можно использовать для исследования шумовых характеристик фотоэмульсий).

Средние значения плотностей (почернений) ступеней шкалки запоминаются для дальнейшей обработки. После того как все фотометрические разрезы обработаны таким образом, производится параллельный сдвиг всех фотометрических разрезов к контрольному, указанному экспериментатором. Сдвиг производится следующим образом. Подбирается фотометрический разрез, у которого наибольшее число точек по плотности (почернениям) перекрывается с контрольным. Затем находится $\Delta \lg I_i$ между точками сдвигаемой кривой и контрольной, вычисляется $\overline{\Delta \lg I}$, и все $\lg I_i$ сдвигаемой кривой изменяются на эту величину. Следующий разрез уже сдвигается к совмещенной кривой таким же образом. После совмещения координаты точек (D , $\lg I$) выводятся на дисплей и на печать.

Аппроксимация характеристической кривой производится двумя кривыми второго порядка и одной кривой первого порядка.

Такое представление дает лучшее согласие с «ручным» построением, чем аппроксимация одним полиномом порядка n ($n=2, 3, 4, 5, 6$). С помощью дисплейной обслуживающей системы на совмещенной кривой отмечается точками прямолинейный участок. Пусть A — начальная точка совмещенной кривой, BC — прямолинейный участок, D — конечная точка кривой, тогда участок AC аппроксимируется кривой $a_1x^2 + b_1x + c_1 = d_1$ (I); BC — кривой $b_2x + c_2 = d_2$ (II); BD — кривой $a_3x^2 + b_3x + c_3 = d_3$ (III). Сопряжение кривых производится с помощью совместного решения уравнений (I)–(III).

Для контроля аппроксимированная и совмещенная кривые выводятся на экран дисплея. На магнитную ленту производится запись плотностей (почернений) через $0.01 \lg I$, вычисленных по аппроксимационной кривой. Можно провести сглаженную характеристическую кривую по совмещенной с помощью дисплейной обслуживающей системы. Для этого на экране дисплея отмечаются участки кривой, на которых возможна линейная интерполяция. Число участков ≤ 100 . В этом случае на магнитную ленту записываются интерполированные значения плотностей (почернений) через $0.01 \lg I$.

Среднее значение вуали находится по всем фотометрическим разрезам и выводится на печать и перфокарты. На рис. 2 приведен пример автоматического построения характеристической кривой на ЭВМ М-222 (а) и при «ручном» построении (б). Сравнение этих кривых показывает хорошее согласие автоматической и ручной обработки. По вычисляемым статистическим характеристикам

шумов фотоэмulsionей можно построить зависимость $\sigma_D = f(D)$, определять число объективно различимых градаций.

Цифровая фильтрация спектров. В силу свойств фотоэмulsionей, на которых в настоящее время получают подавляющее большинство спектроскопического материала, полезная информация, содержащаяся в них, «загрязнена» высокочастотными шумами фотоэмulsionей. В настоящее время благодаря оцифровке спектров стало возможным грамотно и оптимально исключать из оцифрованного спектра информацию, обусловленную шумами фотоэмulsionей, с минимальным искажением полезного сигнала. Для этого необходимо иметь информацию о спек-

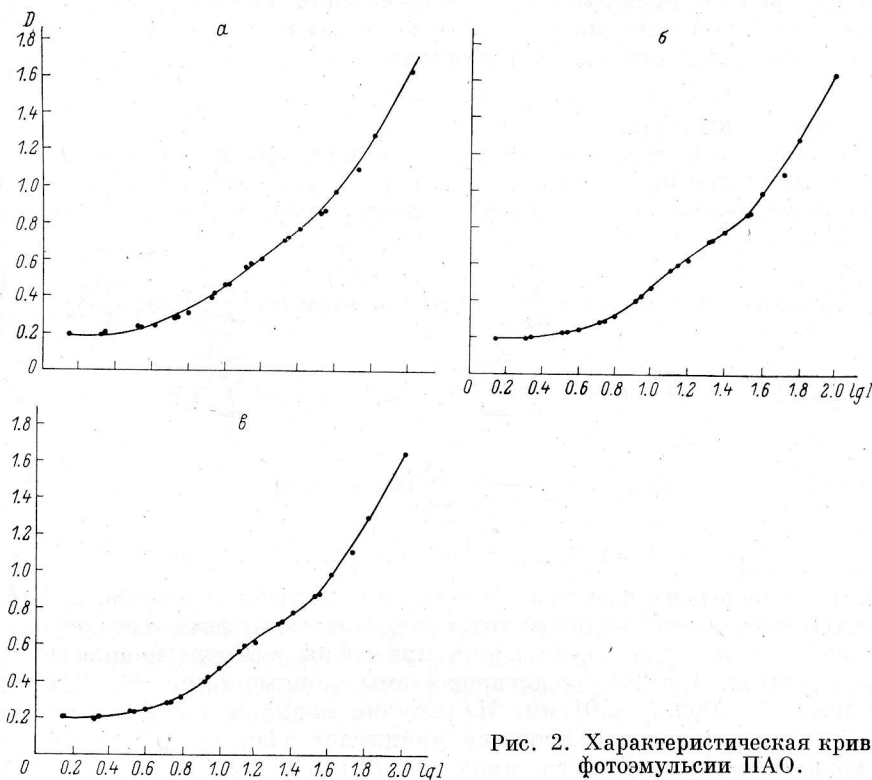


Рис. 2. Характеристическая кривая фотоэмulsionей ПАО.

a — автоматизированное построение; результирующая кривая получена с помощью аппроксимации двумя кривыми второго порядка и одной кривой первого порядка; *б* — автоматизированное построение; результирующая кривая получена интерполяцией между точками, указанными на дисплее экспериментатором; *в* — ручное построение характеристической кривой.

тре мощности процесса (спектра небесного объекта) и спектре мощности шумов фотоэмulsionей.

Следует отметить, что среднеквадратическая величина шума σ_D связана со спектром мощности процесса S соотношением

$$\sigma_D^2 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где ω — пространственная частота. С другой стороны, σ_D связана с D , например для фотоэмulsionей ПАО, соотношением [11]

$$\sigma_D = 0.0077 + 0.027D. \quad (2)$$

Следовательно, спектр мощности процесса зависит от уровня D . В реальном спектре небесного объекта мы имеем дело с широким диапазоном плотностей. Для того чтобы для каждой плотности не строить свой фильтр, некоторые исследователи [11], воздействуя определенным функционалом, так преобразуют оптическую плотность исходного процесса, что среднеквадратическое уклонение остается постоянным в достаточно широком диапазоне плотностей.

При определении спектра мощности процесса в случае ограниченной длины реализации могут быть получены маленькое спектральное разрешение и большие ошибки оценивания спектральных характеристик. Существует зависимость между среднеквадратической точностью оценивания спектральной характеристики ε , длиной реализации N и числом независимых пространственных частот m ; в которых спектр мощности оценивается с точностью ε . Для окна Хэмминга [12]

$$m = (5/4) \varepsilon^2 N. \quad (3)$$

Кроме того, при определенном шаге дискретизации спектра небесного объекта по пространственной координате, согласно теореме Котельникова, мы можем однозначно определить наибольшую пространственную частоту f_b как

$$f_b = 1/(2\Delta x),$$

где Δx — шаг дискретизации.

Тогда, вводя сглаживающие весовые функции, мы можем в интервале пространственных частот $[0, f_b]$ со спектральным разрешением $\Delta f = f_b/m$ и с ошибкой ε получить состоятельную оценку спектра мощности процесса по следующим формулам [12]:

$$\hat{S}(n\Delta f) = 2\Delta x K(0) + 4\Delta x \sum_{h=1}^m K(h\Delta x) \left(0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{\pi h}{m}\right)\right) \cos\left(\frac{\pi n h}{m}\right);$$

$$K(0) = DIS = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (D_k - \bar{D})^2; \quad \bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} D_k;$$

$$K(h\Delta x) = \frac{1}{N - m - 1} \sum_{k=0}^{n-m} (D_k - \bar{D})(D_{k+h} - \bar{D}),$$

$$h = 1, 2, \dots, m; \quad n = 0, 1, 2, \dots, m.$$

Здесь $K(0)$ — дисперсия процесса; \bar{D} — среднее значение процесса, а $K(h\Delta x)$ — коэффициент корреляции, вычисленный в m точках с интервалом по аргументу Δx .

На рис. 3 в качестве иллюстрации приведены спектры мощности участка спектра галактики Арп 281, содержащей эмиссионные линии H_α , $H\beta$, $H\gamma$, при $\varepsilon = 0.2$ (20%), $N = 1000$, $f_b = 501/\text{мм}$. Из рисунка видно, что начиная с некоторой частоты f_c спектр мощности процесса принимает значения, близкие к нулю, т. е. основная энергия процесса заключена в интервале частот $[0, f_c]$. Отсюда вытекает основное правило фильтрации спектров: необходимо конструировать такой фильтр, который бы пропускал без искажений энергию всех частот из интервала $[0, f_c]$ и не пропускал энергию из области $f > f_c$ (фильтры низкой частоты); при этом несильно исказится полезный сигнал и подавятся высокочастотные шумы фотоэмюльсии.

На практике фильтрация спектральной информации осуществляется следующим образом. Для вычисления соответствующей импульсной характеристики экспериментатор с экрана дисплея задает управляющие параметры: β_1 — левую границу среза частот (для фильтров низкой частоты $\beta_1 = 0$), ширину переходной характеристики фильтра δ , допускаемую величину пульсаций $\lambda = 20 \lg \varepsilon$ в децибелах, β_2 — правую границу среза частот; признак типа фильтра (полосовой, режекторный). Смысл этих параметров ясен из рис. 4. Получив исходную информацию, ЭВМ вычисляет частотную характеристику фильтра и высвечивает ее на экране совместно со спектром мощности процесса. Затем вычисляет импульсную характеристику фильтра, производит сверку ее с исходным спектром объекта, высвечивает на экран результат фильтрации.

Если результат фильтрации удовлетворяет экспериментатора, то выдается перфоленга для визуализации результата на графопостроителе и результат записывается на магнитную ленту. В противном случае фильтрацию можно повторить с другим фильтром. На рис. 5 приведены примеры цифровой фильтрации спектра галактики Арп 281 с разными фильтрами низкой частоты.

В процессе фильтрации на печать выдаются параметры: частота Нейквиста (f_b), максимальный интервал корреляции τ_m , разрешение по пространственным

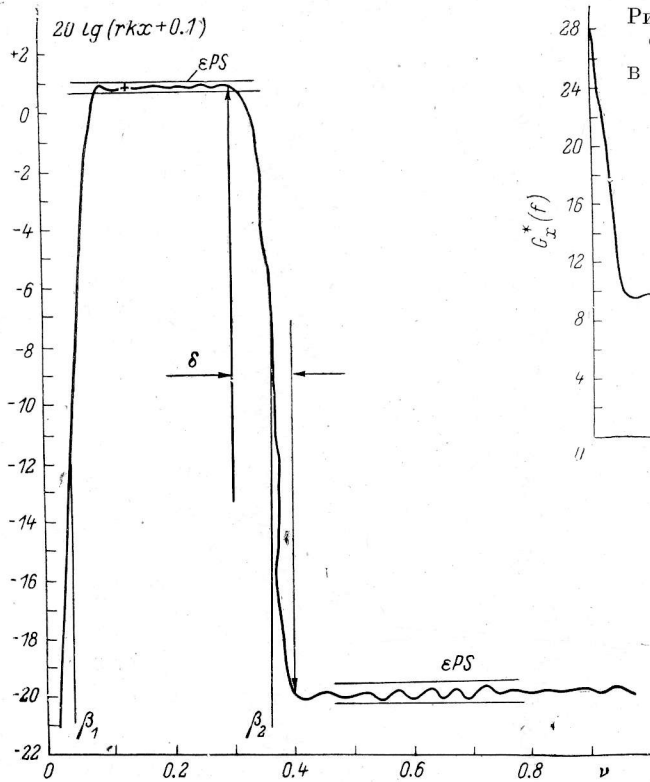


Рис. 4. Пример полосового фильтра.

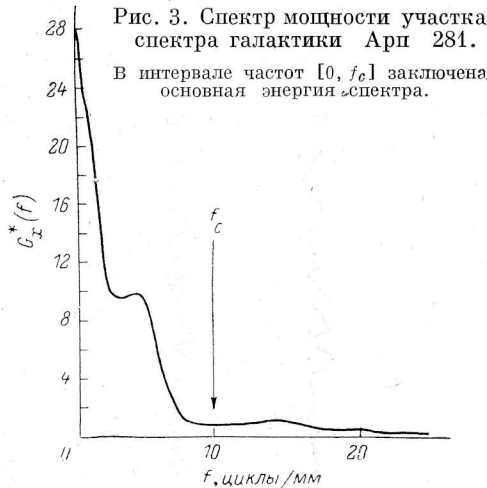


Рис. 3. Спектр мощности участка спектра галактики Арп 281. В интервале частот $[0, f_c]$ заключена основная энергия спектра.

частотам Δf , среднее значение и дисперсия процесса, автокорреляционная функция $K(h\Delta x)$, оценка спектра мощности процесса $\hat{S}(h\Delta f)$; документируются управляющие параметры фильтра ($\beta_1, \beta_2, \delta, \lambda$), частотная характеристика фильтра, вычисленная по формуле

$$H(\nu) = \beta + 2 \sum_{k=1}^{N_p} b_k \cos(\pi \nu k),$$

где b_k — импульсная характеристика фильтра;

$$b_k = (\sin(\beta_2 k \pi) - \sin(\beta_1 k \pi)) y_1 / (k \pi y_2);$$

$$y_1 = I_0\left(\eta \sqrt{1 - \left(\frac{k}{N_p}\right)^2}\right); \quad y_2 = I_0(\eta);$$

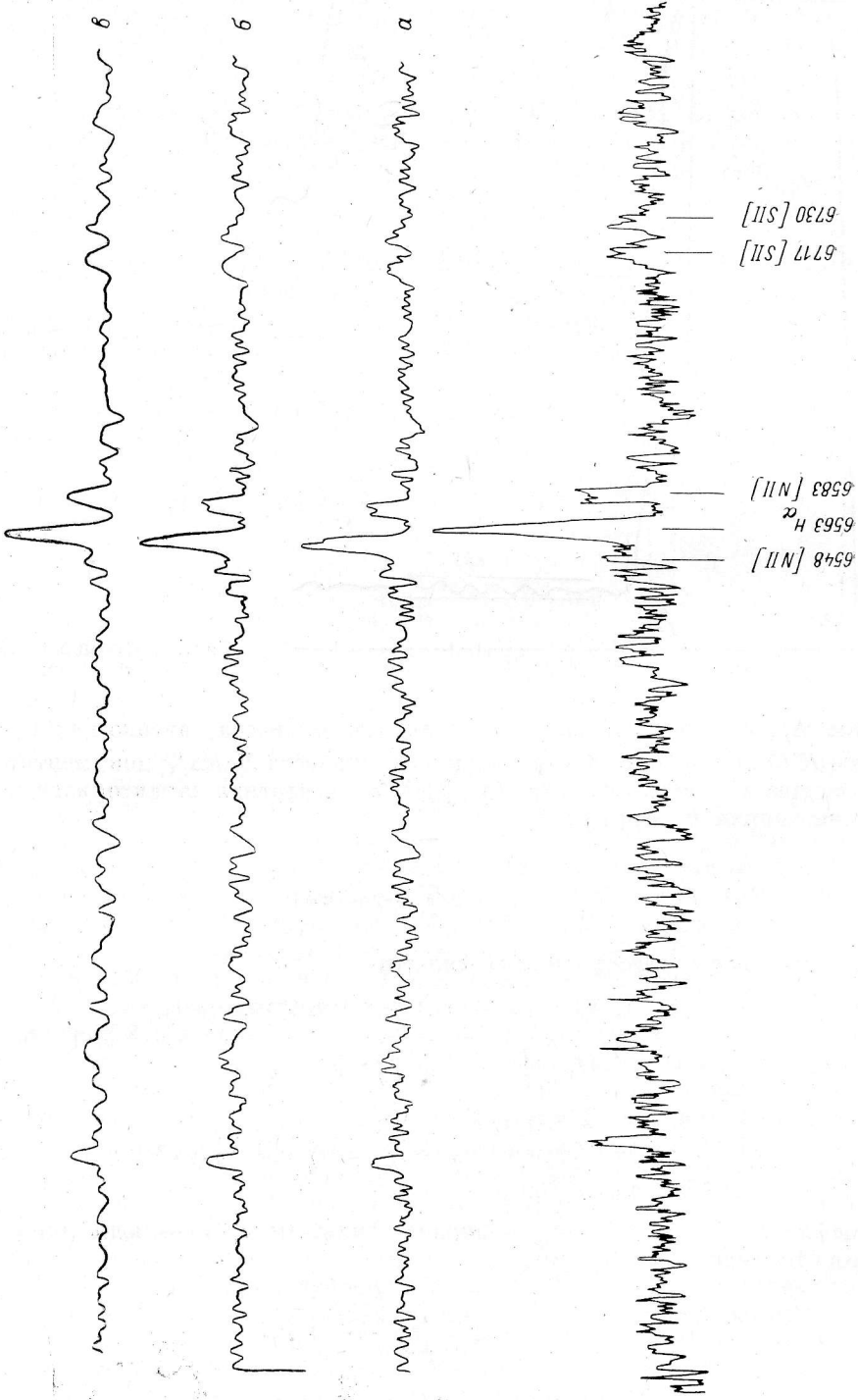
$$\eta = \begin{cases} 0.1102(\lambda - 8.7) & \text{при } \lambda > 50; \\ 0.5842(\lambda - 21)^{0.4} + 0.07886(\lambda - 21) & \text{при } 21 < \lambda < 50; \\ 0.0 & \text{при } \lambda < 21; \end{cases}$$

$b_k = b_{-k}$; $k = 1, 2, \dots, N_p$; N_p — ширина фильтра; $I_0(x)$ — модифицированная функция Бесселя;

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\left(\frac{x}{2}\right)^k}{k!} \right)^2.$$

Проведение уровня непрерывного спектра. Проблема автоматизации проведения уровня непрерывного спектра легко решается, если в процессе обработки спектральной информации на ЭВМ экспериментатор имеет возможность «подсказать» точки, через которые, по его мнению, должен проходить континуум.

В рамках обслуживающей дисплейной системы (ОДС) реализованы средства пометки избранных точек на экране дисплея, принадлежащих спектру объекта



или не принадлежащих ему. Экспериментатор с помощью этих средств помечает точки континуума, которые используются ЭВМ в качестве входных данных для аппроксимации методом наименьших квадратов кривой первого или второго порядка (по желанию) уровня непрерывного спектра. Вычисленный уровень континуума и исходный спектр выводятся на экран дисплея. Если полученная кривая не удовлетворяет экспериментатора, то он может повторять операцию проведения уровня непрерывного спектра до тех пор, пока не получит удовлетворительный результат.

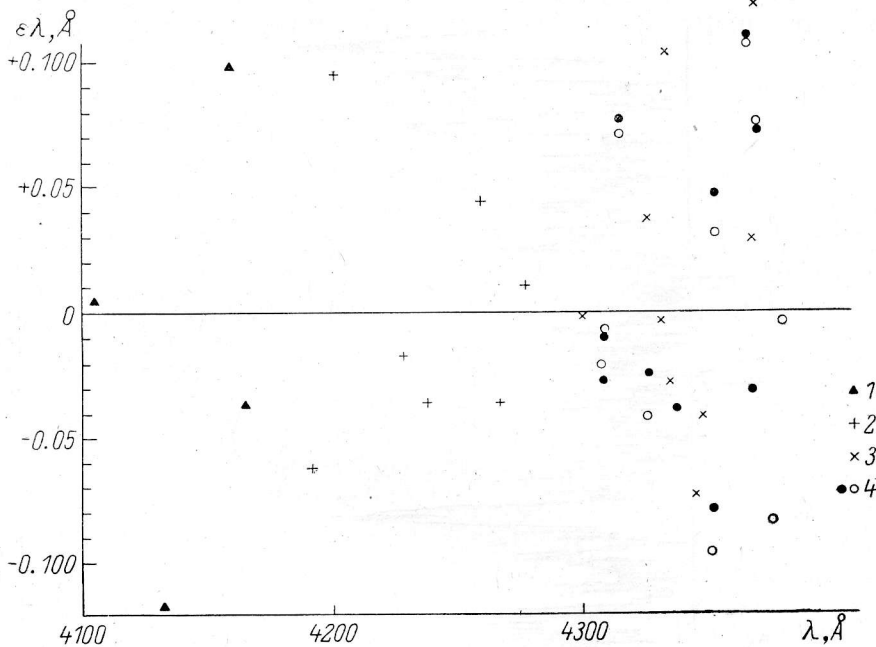


Рис. 6. Значения невязок между значениями длин волн, заданных экспериментатором и вычисленных по аппроксимационной дисперсионной кривой.

1 — невязки для первого скана (скан=1024 отсчета); 2 — для второго скана; 3 — для третьего скана спектра звезды HD 147010 в случае аппроксимации кривой второго порядка; 4 — невязки одного скана участка спектра звезды ρ Leo для случая линейной и квадратичной аппроксимации дисперсионной кривой соответственно. Величина невязки не превышает 0.5 шага дискретизации.

После завершения операции проведения уровня континуума происходит перевод интенсивностей в остаточные интенсивности $r_i = I_i/I_i^c$, $i=1, 2, \dots, N$, где I_i — интенсивность спектра в этой точке.

Результат работы документируется на графопостроителе и магнитной ленте.

Построение дисперсионной кривой. Для построения дисперсионной кривой необходимо произвести оцифровку спектра сравнения с тем же нульпунктом, с которым был оцифрован спектр объекта. После стандартизации, описанной выше, спектр сравнения высвечивается на экране дисплея. Экспериментатор должен пометить эталонные линии, напечатать соответствующие им длины волн и задать тип аппроксимационной кривой дисперсии (первого порядка, второго порядка). После получения данных ЭВМ методом наименьших квадратов аппроксимирует наблюдаемую зависимость длины волны от номера отсчета аналитической, считает невязки в точках, указанных экспериментатором, производит перевод номера отсчета в длину волн. На рис. 6 приведены значения

Рис. 5. Пример цифровой фильтрации спектра галактики Арп 281 с разными фильтрами низкой частоты.

	β_2	δ	λ	β_1
a	0.4	0.1	50	0
b	0.3	0.1	50	0
c	0.2	0.1	50	0

Внизу — исходный спектр.

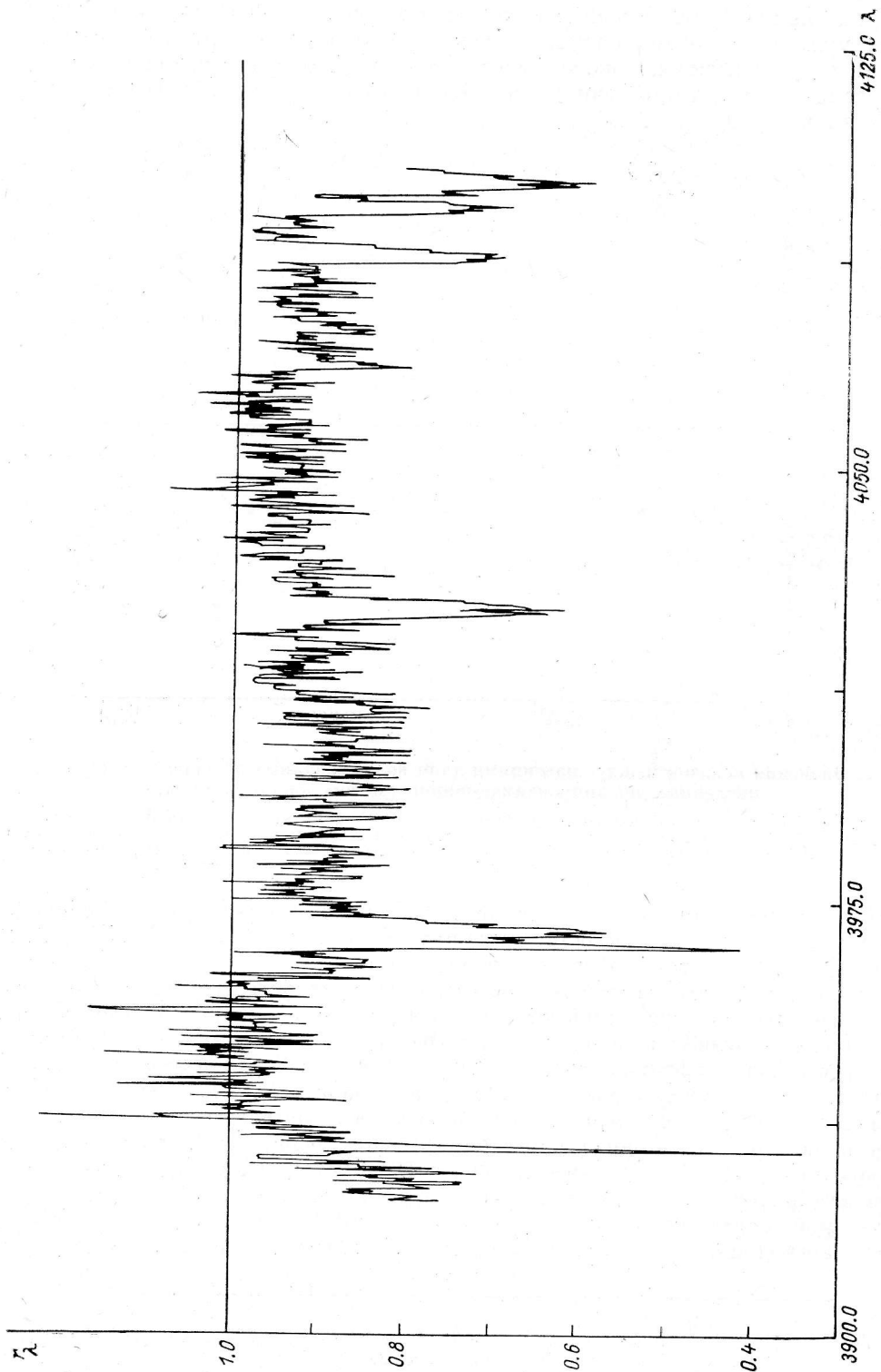


Рис. 7. Пример обработки и визуализации участка спектра Суг-Х1 в остаточных интенсивностях.

невязок между значениями длин волн, заданных экспериментатором и вычисленных по аппроксимационной дисперсионной кривой второго порядка ρ Leo и HD 147010 (спектры любезно предоставлены сотрудниками отдела физики и эволюции звезд). Величина невязок обычно не превышала 1/2 шага дискретизации по длинам волн.

Определение параметров спектральных линий. После аппроксимации дисперсионной кривой экспериментатор должен указать местонахождение информации о спектре в остаточных интенсивностях. ЭВМ высвечивает эту информацию на экране дисплея и просит указать начало левого и конец правого крыла спектральных линий, параметры которых необходимо определить. Получив

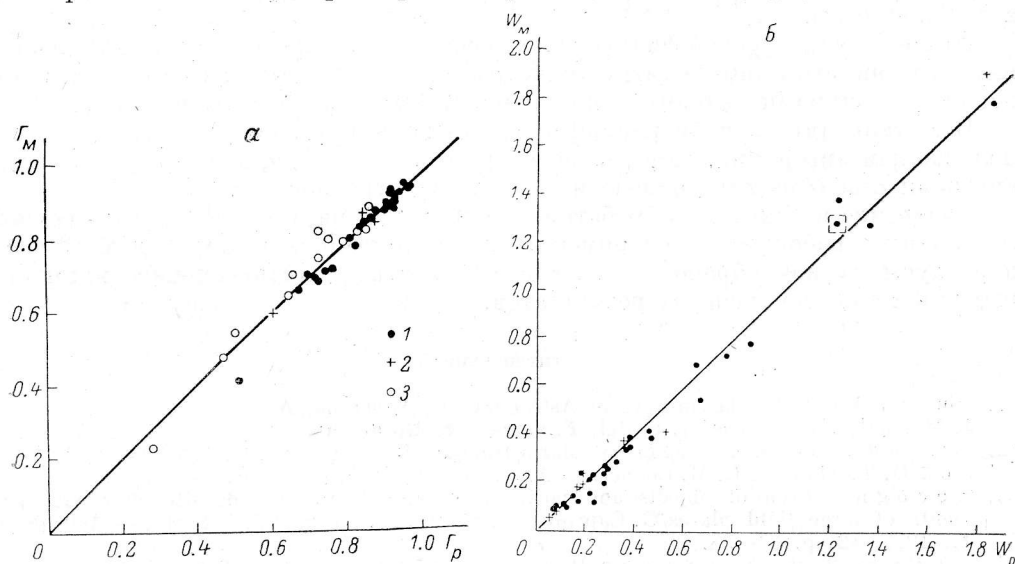


Рис. 8. Сравнение ручной и «машинной» обработки участков спектров Cug-X1 (1), ρ Leo (2), HD 147010 (3).

По абсциссе отложены результаты ручной обработки, по ординате — результаты, полученные с помощью автоматизированной обработки; а — сравнение центральных остаточных интенсивностей; б — сравнение эквивалентных ширин спектральных линий.

данные, ЭВМ вычисляет методом прямоугольников эквивалентную ширину линий

$$W_{\lambda} = \sum_{i=i_x}^{i_n} \Delta\lambda (1 - r_{\lambda_i}),$$

где i_x , i_n — номера отсчетов начала и конца линии в оцифрованном участке спектра, $\Delta\lambda$ — число ангстрем, заключенных между двумя соседними отсчетами; полуширину линий $\Delta\lambda_{1/2}$ на половинном уровне минимальной (в случае абсорбционных) или максимальной (в случае эмиссионных) остаточной интенсивности; длину волны в точке, соответствующей центральной остаточной интенсивности линий (r_0); длину волны середины линии на уровне остаточной интенсивности, вычисляемой по формуле

$$r_{\lambda_k} = \left(\frac{1 - r_0}{10}\right)k + r_0, \quad k = 1, 2, \dots, 10.$$

Последняя процедура позволяет выявить асимметрию спектральной линии. Результаты вычислений печатаются, а информация о спектре в координатах (λ_i, r_i) разрисовывается на графопостроителе. На рис. 7 приведен пример разрисовки участка спектра на графопостроителе в координатах (λ_i, r_i) (без фильтрации).

На рис. 8 приведено сравнение ручной обработки спектров Cug-X1, проведенной в отделе ФЭЗ САО, эталонных параметров ρ Leo, заимствованных у Райта [13], ручных результатов обработки спектра звезды HD 147010, проведенных

В. Г. Ключковой, с машинной обработкой по описанной выше методике. Получено удовлетворительное согласие для всех объектов. Из рисунка видно, что разработанная методика свободна от систематических ошибок: точки концентрируются около прямой, которая составляет с осями углы по 45° .

Заключение. Обработка спектров небесных объектов в режиме on line позволяет экспериментатору воздействовать на процесс обработки. Любую операцию можно повторять при необходимости многократно до получения необходимого результата при малых затратах времени. Диалоговое проведение уровня непрерывного спектра дает возможность обрабатывать практически любые спектры независимо от их спектрального класса, природы (эмиссионный, абсорбционный).

Применение цифровой фильтрации позволяет улучшать спектральное разрешение, выявлять и определять параметры линий, которые из-за существенного искажения шумами фотоэмульсии не могут быть обработаны вручную.

Все этапы автоматизированной обработки спектральной информации, предложенной авторами, дают точность, не хуже точности, получаемой разными авторами при обработке одного и того же спектра вручную.

Внедрение в практику обработки спектральной информации предложенной методикой освобождает экспериментатора от рутинной малопродуктивной процедуры ручной обработки, дает возможность уделять основное внимание интерпретации полученных результатов.

Литература

1. Image Processing Techniques in Astronomy/M. Auvergne, A. Bijaoui, J. L. Neudier, J. Marchal, Ch. Ounnas, J. Postel, F. Schneider. Dordrecht-Holland, 1975, p. 373—380.
2. Image data-processing system for solar astronomy/R. M. Wilson, D. L. Teuber, J. R. Watkins, D. T. Thomas, C. M. Cooper. — Appl. Optics, 1977, 16, p. 944—949.
3. Recognition of objects and position recovery from microdensitometer measurements of large field plates/G. Caprioli, D. Manni, A. Palma, V. Vignato. — Astrophys. J., 1977, 52, p. 27—33.
4. McSoro T. B., Kinnucan P. F., Fawatt G. Jr. Image Processing Techniques in Astronomy. Dordrecht-Holland, 1975, p. 329—334.
5. Pratt N. M. The COSMOS measuring machine. — Vistas in Astron., 1977, 21, p. 1—42.
6. Green F. R., Morill E. M. An automated technique for stellar magnitude, color index, and position measurements of astronomical photographs. — Publ. Astron. Soc. Pacific, 1978, 90, p. 601—606.
7. Arr H., Lorge J. Image processing of galaxy photographs. — Astrophys. J., 1976, 210, p. 58—64.
8. Коровяковская А. А., Коровяковский Ю. П., Ченцов Е. Л. Автоматизация обработки высокодисперсионных спектрограмм О—А-звезд с помощью ЭВМ. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1975, 7, с. 156—162.
9. Crivellari L., Mardrosian F., Morossi C. A criterion for the measurement of equivalent widths. — Astron. and Astrophys., 1979, 72, p. 256—260.
10. Обслуживающая дисплейная система/А. А. Коровяковская, Л. С. Мережина, Н. П. Хорунжая, В. С. Шергин. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 12, с. 169—174.
11. Lingren H. Filtering of spectrograms with Fourier techniques. — Reports from the observatory of Lund, 1975, No 6, p. 15—33.
12. Грибанов Ю. И., Мальков В. М. Спектральный анализ случайных процессов. М.: Энергия, 1974.
13. Wright K. O., Lee E. K., Jacobson T. V., Grechnstein. Line intensities in the spectra of representative stars, of spectral types B to G. — Publ. Dom. Astroph. Observ., 1964, XII, No 7.

Поступила в редакцию 05.11.81