

УДК 522.62

АСТРОФИЗИКА

Р. А. Саркисян, Л. А. Татевосян

Применение цифровых методов для выявления слабых деталей
 в эмиссионном спектре галактики Маркарян 372

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 1/VI 1979)

В современной наблюдательной астрономии очень большое внимание уделяется выявлению и изучению слабых деталей, структур астрономических изображений (1, 2). На процесс формирования астрономических изображений большое влияние оказывают шумы, природные и инструментальные, которые ухудшают качество изображений (отношение сигнал/шум, разрешение и т. д.) (3, 4). В частности, при спектральных наблюдениях влияние аппаратной функции, зернистости эмульсии фотопластинки и т. д. не дает возможности выявить отдельные слабые детали в спектральных линиях. Весьма перспективным является применение машинного моделирования для обработки изображений, причем в первую очередь представляет интерес обработка таких изображений, получение которых связано с аппаратными трудностями. К таким изображениям относятся астронегативы, аэрофотоснимки и т. д. Применение некоторых математических методов (суперпозиция, Фурье-анализ пространственных частот, корреляционный анализ и т. д.) в определенной степени улучшает качество изображений (точечное, линейное, протяженное). Такие методы были применены для информационной обработки спектра галактики Маркарян 372 на ЭВМ.

Четыре спектра галактики Маркарян 372 были получены Э. Е. Хачикяном на 2,7 м телескопе обсерватории McDonald со спектрографом UVITS (дисперсия 220 Å /мм) на фотопластинках Kodak IIaO. Обработываемый участок спектра включал линии [O III] $\lambda\lambda$ 4959/5007 и $H\beta$. Регистрограммы (распределение почернений) были получены на микрофотометре ИФО-451. Ширина щели микрофотометра равна 15 мкм, высота 4 мм. По регистрограммам путем использования характеристической кривой для каждого снимка было получено распределение интенсивности в спектре с шагом 10 мкм (2,2 Å). При такой дискретизации по длине волны было получено 128 значений интенсивности для каждого спектра. На рис. 1 приведено одно из исходных распределений интенсивности в спектре (до обработки).

Математическая модель была построена для решения задачи выделения слабых деталей в спектре астрономических изображений. Машинная обработка осуществлялась на ЭВМ «Минск-32». Для обработки информации была создана алгоритмическая система, работающая в режиме диалога «оператор — ЭВМ» и состоящая из блоков подпрограмм обработки и управляющей программы. Блок подпрограмм состоит из ряда различных программ, позволяющих выполнять различные операции обработки (такие как преобразование Фурье, вычисление модуля и фазы спектра изображения, матричные операции, нелинейные преобразования, вывод информации в виде графиков, многоградационных изображений и т. д.).

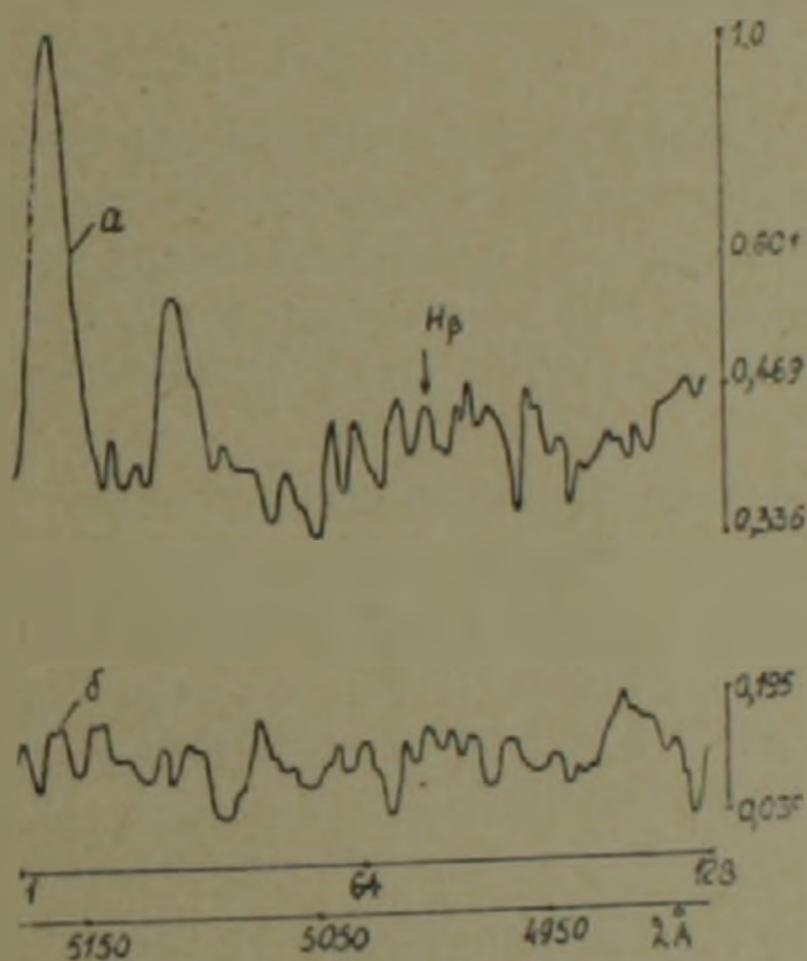


Рис. 1. а — Исходное распределение интенсивности в спектре галактики Маркарян 372; б — усредненное шумовое распределение, обусловленное зернистостью фотослоя

Оператор задает процесс обработки с ПМ ЭВМ в виде набора последовательных «имен» подпрограмм управляющей программе, которая автоматически выполняет требуемые преобразования над исходной информацией; таким образом появляется возможность варьировать процесс моделирования, что обеспечивает достаточную гибкость процесса обработки и позволяет в любой момент времени вводить необходимые коррективы в процесс обработки информации. Алгоритмы программ написаны на языке «Фортран». На рис. 2 показана блок-схема обработки информации на ЭВМ. В блоке 1 осуществляется усреднение введенных интенсивностей, далее в блоке 2 выполняется дискретное преобразование Фурье над этим усредненным распределением, в блоке 3 может выполняться в зависимости от выбранного процесса обработки либо оптимальная фильтрация, либо нелинейное пре-

образование спектра изображения, либо фильтрация с применением аппаратной функции. Блок 4 выполняет обратное дискретное преобразование Фурье, а блок 5 осуществляет регистрацию обработанной информации на устройствах вывода ЭВМ.

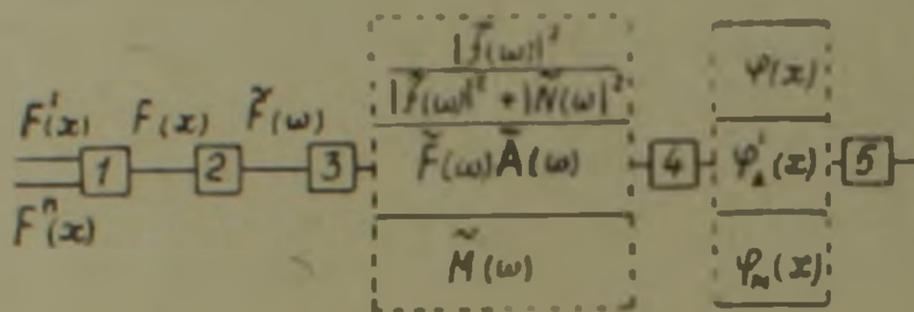


Рис. 2. Блок-схема обработки информации

Первоначально производилась нормировка каждого из четырех спектров по их максимальным значениям. После нормировки осуществлялся процесс усреднения четырех исходных спектров. Предполагалось, что шумы имеют случайное распределение и не коррелируют с сигналом. При таком допущении шумы складываются по закону случайных ошибок.

Допустим, что $f(x)$ выражает распределение сигналов в спектре (с инструментальным профилем, но без шумов $N(x)$). Тогда распределение наблюдаемого сигнала (после суперпозиции) можно выразить через функцию $F(x) = f(x) + N(x)$.

Оптимальный фильтр коррекции шумов $\Phi(x)$ находится из условия минимума следующего интеграла (3):

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x) - \varphi(x)|^2 dx,$$

где

$$\varphi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x-x')\Phi(x')dx'. \quad (1)$$

Фурье-преобразование от $\varphi(x)$ будет

$$\tilde{\varphi}(\omega) = \tilde{F}(\omega)\tilde{\Phi}(\omega), \quad (2)$$

где тильдой обозначается Фурье-преобразование функции.

Учитывая теорему Парсеваля (3), напишем:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x) - \varphi(x)|^2 dx = \int_{-\infty}^{\infty} |\tilde{f}(\omega) - \tilde{\varphi}(\omega)|^2 d\omega; \quad (3)$$

исходя из условия минимума (3) по $\Phi(\omega)$ можно найти вид распределения оптимального фильтра:

$$\bar{\Phi}(\omega) = \frac{|\bar{f}(\omega)|^2}{|\bar{f}(\omega)|^2 + |\bar{N}(\omega)|^2} \quad (4)$$

При таком фильтре обратное преобразование Фурье от (2) дает $\varphi(x)$, что и представляет распределение интенсивности после фильтрации. Подобно (1) аппаратную функцию можно использовать и качестве „фильтра“ для усиления сигналов. При этом

$$\varphi_A(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x-x')A(x')dx' \quad (5)$$

или

$$\bar{\varphi}_A(\omega) = \bar{F}(\omega)\bar{A}(\omega).$$

Последовательное применение (5) дает возможность более точно выразить реальное распределение интенсивности. Второе приближение можно брать следующим образом (6):

$$F'(x) = 2F(x) - \varphi_A(x), \quad (6)$$

тогда

$$\bar{\varphi}'(\omega) = \bar{F}(\omega)\bar{A}'(\omega) \quad \text{и т. д.}$$

Обратное Фурье-преобразование (6) дает распределение интенсивности после действия аппаратной функции. Затем представляется целесообразным для улучшения контраста спектральных линий изображения несколько подавить высокие частоты ω_H и слегка усилить низкие частоты ω_N , что может быть выполнено следующим образом: над суммарной информацией $F(x)$ производится дискретное преобразование Фурье и получается пространственный спектр изображения, т. е.

$\bar{F}(\omega)$. Для изменения соотношения высокочастотных и низкочастотных составляющих над модулем $\bar{F}(\omega)$ производилось нелинейное преобразование. В качестве модуля исправленной функции $\bar{F}(\omega)$ бралась величина $|\bar{F}(\omega)|^{3/2}$, что касается распределения фаз, то оно оставалось неизменным. После такой, несколько произвольной модификации модуля спектра выполнялось обратное преобразование Фурье. В полученной подобным образом реализации улучшалась контрастность сигнала.

Рассмотрим результаты обработки. На рис. 3,а показан обрабатываемый участок после усреднения четырех исходных спектров, а на рис. 3,б тот же участок после оптимальной фильтрации. Из сравнения этих рисунков следует, что после фильтрации высокие частоты сглаживаются, а отношение сигнал/шум для линии $H\beta$, λ 4861 Å ($z=0,03$, λ 5007 Å) по мощности улучшается примерно на 3-4дб.

На рис. 4, *a, б* изображен спектр после обработки с аппаратной функцией (*a* — первое, *б* — второе приближение). Из сравнения этих рисунков следует, что некоторые компоненты сигналов (отдельные детали) более четко обнаруживаются после второго приближения, так например, фиолетовая компонента линии H_β по мощности улучшается примерно на $2+3$ дб, а по сравнению с исходным изображением примерно на $5+6$ дб.

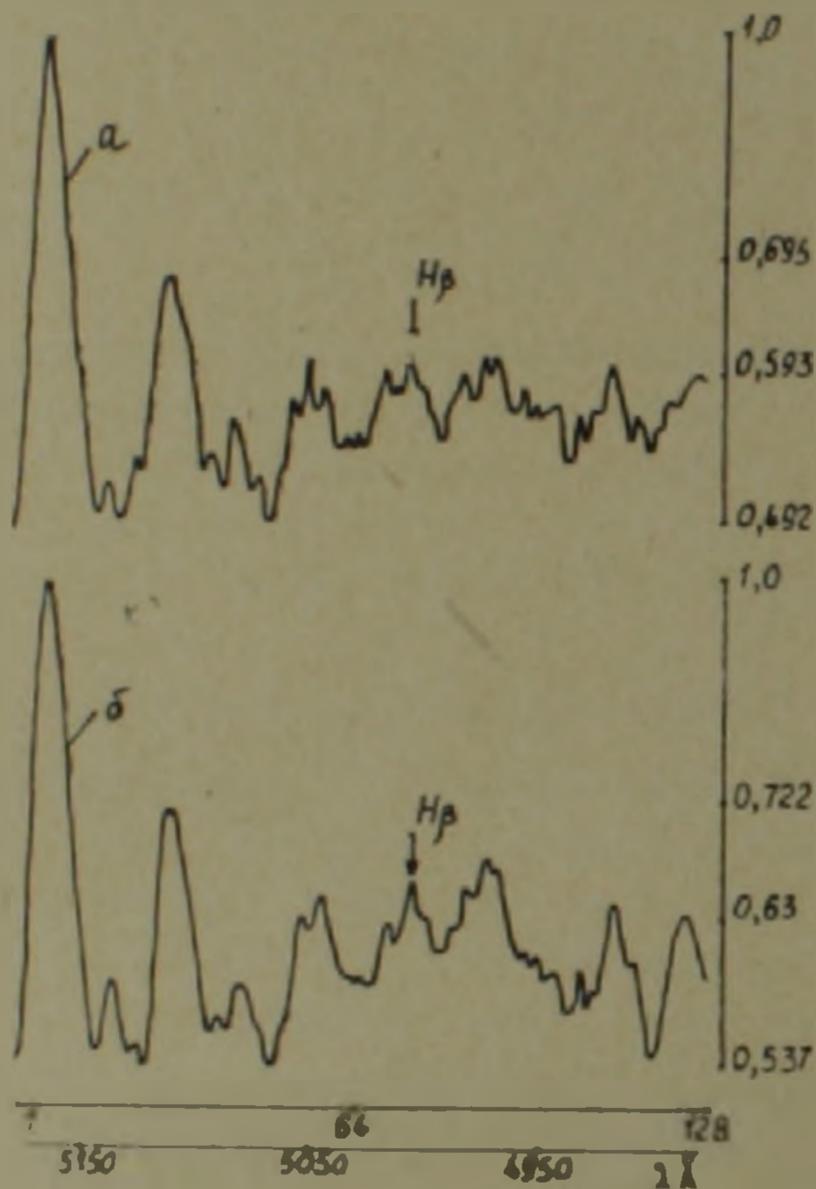


Рис. 3 *a* — результат усреднения исходных интенсивностей; *б* — результат оптимальной фильтрации

На рис. 4, *в* приведен спектр после произведенного изменения соотношений высокочастотных и низкочастотных пространственных частот. Из него видно, что несмотря на потери некоторых высокочастотных деталей получено четкое оконтуривание линии H_β со своими компонентами.

Из сравнения всех рисунков, полученных разными методами информационной обработки, следует, что выявляются контур и детали линии H_β (центр линии показан стрелкой). Особенно хорошо обнаруживаются две компоненты линии H_β со сдвигом, соответствующим доплеровской скорости около 2000 км/сек на красном (≈ 5045 Å) и 1500 км/сек на фиолетовом (≈ 4963 Å) крыльях линии. Следы подобных же компонент обнаруживаются как будто и у запрещенных

линий $\lambda\lambda$ 5107,8/5157, 2Å ($z=0,03$). Выявлены, в результате обработки, также две эмиссионные линии на фиолетовой стороне от коротковолновой компоненты $H\beta$. Одна из них имеет приближенную длину вол-

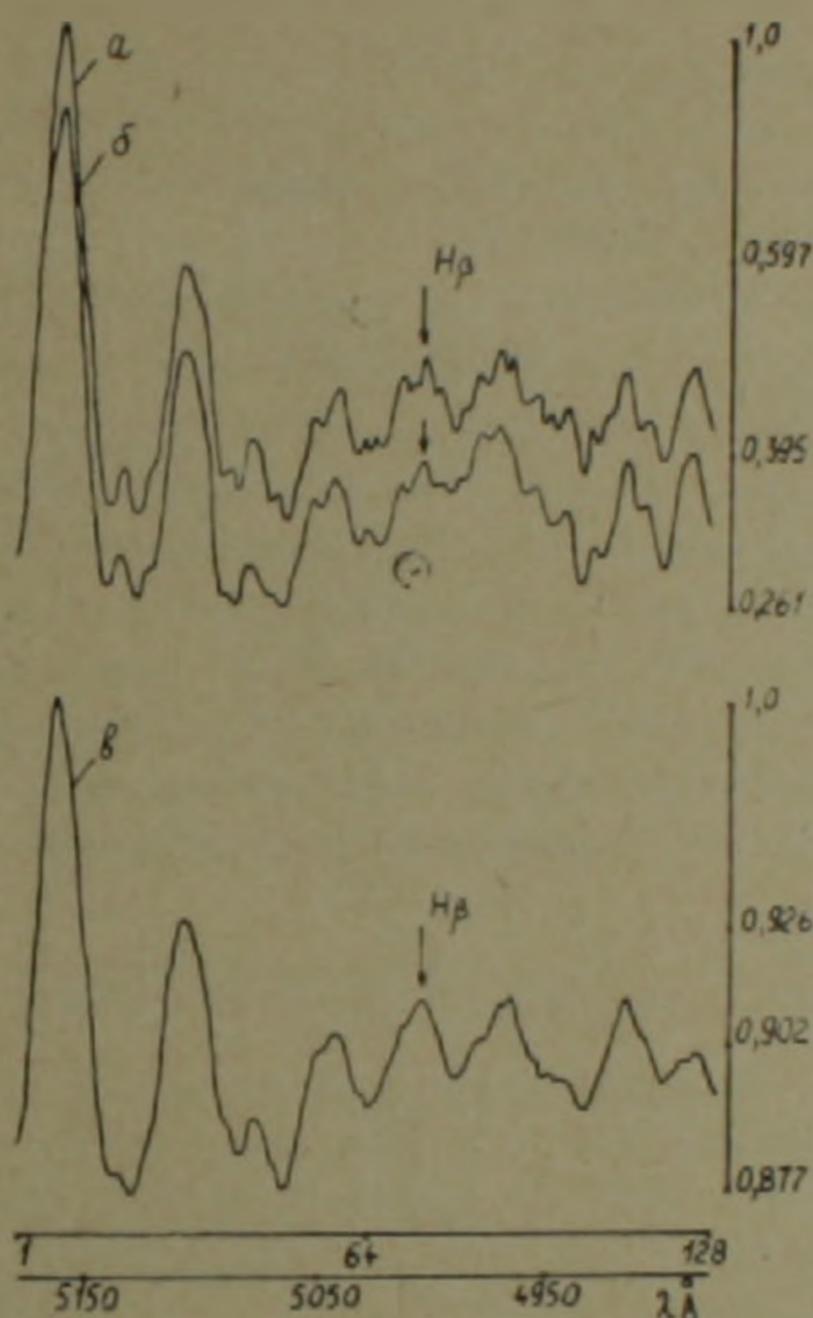


Рис. 4. *a*—первое приближение при обработке с аппаратной функцией; *б*—второе приближение; *в*—результат нелинейного преобразования пространственного спектра

ны λ 4918 Å и близка к длине волны линии $H\gamma$ 4916, 07 Å. присутствие которой обусловлено рассеянием в атмосфере света ртутных ламп постороннего освещения. Другая же эмиссионная линия соответствует линии $[ArIV]$ λ 4882, 4 Å и принадлежит объекту.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Թվային մերոզների կիրառությունը Մարգարյան 372 գալակտիկայի առաջնան սպեկտրում բույլ մանրամասնություններ հայտնաբերելու համար

Ներկա աշխատանքում կիրառված են մի քանի թվային մեթոդներ (պատկերների վերադրում, տարածական հաճախականությունների Ֆուրյե վերլուծություն և այլն) Մարգարյան 372 Գալակտիկայի սպեկտրում եղած թույլ մանրամասնություններ հայտնաբերելու նպատակով: Ինֆորմացիայի թվային մշակումը կատարվել է «Մինսկ 32» էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի վրա: Ինֆորմացիայի մշակումը հնարավորություն է տվել հայտնաբերել $H\gamma$ 4861 Å առաջման գծը (նկ. 3, λ 5007 Å, $z \approx 0,03$) իր նրկու բաղադրիչներով: Բաղադրիչներից մեկին՝ կարմիր թևին (λ 5045 Å), համապատասխանում է ≈ 2000 կմ/վրկ Իոպլերյան արագության, իսկ մյուսին՝ մանուշակագույնին՝ ≈ 1500 կմ/վրկ: Այսպիսի բաղադրիչների հետքերը երևում են արգելված զրծերում ($[OIII]$ λ 4959/5007, Մշակումից հետո հայտնաբերվել են ևս նրկու գծեր: Իրանցից մեկը λ 4918 Å նույնացված է $H\beta$ λ 4916,07 Å գծի հետ, որը առաջանում է սնդիկային լամպի լույսը մթնոլորտում ցրվելու հետևանքով: Մյուս գծը՝ λ 4742 Å նույնացված է գալակտիկային պատկանող $[ArIV]$ λ 4740,2 Å գծի հետ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ H. Arp, I. Lorre, Astrophys. J., 210, 58 (1976). ² J. W. Brault, O. R. White, Astronomy and Astrophys., 13, 169 (1971). ³ G. Lynga, Reports from the Observatory of Lund, 5, 6 (1975). ⁴ P. A. Саркисян, Сообщ. Бюраканской обсерватории, 46 (1975). ⁵ Дж. Гудмен, Введение в Фурье-оптику, „Мир“, М., 1970. ⁶ Э. А. Гуртовенко, Астрон. ж., 43, 659 (1966).