

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЧИТЫВАНИЕ СПЕКТРОГРАММ НА ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ САО АН СССР

С. Н. Додонов

Описана реализованная на фотометрическом комплексе САО АН СССР методика автоматического считывания спектрограмм. В процессе считывания производится исправление геометрических и масштабных искажений спектра (для спектрограмм, полученных с ЭОП), автоматическое построение дисперсионной кривой, перевод в интенсивности, переход в равномерную шкалу длин волн, а также вычитание спектра ночного неба. Для обычных спектрограмм точность считывания 2—4 мкм. Для спектрограмм, получаемых с ЭОП, — не хуже 5 мкм. Максимально допустимая для считывания длина спектрограммы 160 мм.

A method of automatic reading of spectrograms at the photometric complex of SAO AS USSR is described. The correction of geometrical and scale spectrum distortions (for spectrograms obtained with an image tube), automatical plotting of the dispersion curve, transfer to intensities, transitions to the uniform wavelength scale and also the night sky spectrum subtraction are made during the reading process. For ordinary spectrograms the reading accuracy is 2—4  $\mu\text{m}$ . For spectrograms obtained with an image tube it is not worse than 5  $\mu\text{m}$ . The maximum spectrogram length for reading is 160 mm.

Обработка спектрограмм является одной из важных задач практической астрофизики. Информация, которую мы получим об исследуемом объекте, во многом зависит от качества обработки спектрограмм объекта. Современная постановка задач практической астрофизики требует все более высокой точности получаемых данных; количество получаемого спектрального материала настолько велико, что ручная обработка его становится невозможной в обозримое время. Поэтому важной становится задача автоматизации обработки спектрограмм. Много сделано в этой области в САО АН СССР [1—3], однако до последнего времени существенные ограничения на точность обработки спектрограмм накладывало считывание спектрограмм на однокоординатных микрофотометрах. Особенно большие трудности возникают при обработке спектрограмм, получаемых с ЭОП, отягощенных масштабными и геометрическими искажениями.

Появление двухкоординатных микрофотометров с управляющей ЭВМ на линии [4] позволило перейти к решению задачи позиционно точного автоматического считывания спектрограмм. Сделана попытка [5] перенесения методики считывания спектрограмм с однокоординатного микрофотометра на двухкоординатный, но это не решило основных проблем обработки. Кроме существенного повышения позиционной точности двухкоординатный микрофотометр позволяет решать более сложные задачи. Например, поточечное считывание позволяет правильно учитывать фотографические эффекты, при многострочном считывании учитывать кривизну нитки спектра, наклон линий в спектре объекта и т. д.

Повышение позиционной точности до уровня 3—5 мкм и фотометрической точности считывания позволит применить к анализу спектральных данных наиболее эффективные методы исследования, такие как Фурье-анализ.

**Методика считывания.** В общем виде считывание можно рассматривать как преобразование вектора  $\{D_i, X_i, Y_i\}$  в вектор  $\{I_i, \lambda_i, H_i\}$ , где  $D_i$  — плотность на спектрограмме с координатами  $(X_i, Y_i)$ , а  $I_i$  — соответствующая ей интенсивность в точке с координатами  $(\lambda_i, H_i)$ . Под  $\lambda_i$  подразумевается длина волны, связанная с  $X_i$  дисперсионной кривой, а  $H_i$  — высота в системе координат, связанной со спектрограммой. Зависимость  $D_i—I_i$  определяется характеристической кривой и, имея ее для серии спектрограмм, не представляется трудным совершить переход  $D_i—I_i$ . Дисперсионную кривую мы вынуждены строить

для каждого спектра, поэтому крайне желательно решать эту задачу в процессе считывания.

Если мы имеем дело со спектрограммами, полученными с ЭОП, то необходимо их освободить от масштабных и геометрических искажений. Для этого используется отработанная методика исправления масштабных и геометрических искажений спектрограмм, получаемых с ЭОП, использующая в качестве источника информации об искажениях спектр сравнения [6].

Считывание спектрограмм состоит из двух этапов. Первый этап — подготовка к считыванию спектра объекта. В него входят:

- определение уровня вуали на пластинке;
- считывание верхнего и нижнего спектров сравнения и расчет центров тяжести линий по обеим координатам;
- отождествление считанных спектров сравнения;
- расчет параметров модели геометрических и масштабных искажений (для спектрограмм, получаемых с ЭОП);
- построение координатной сетки в терминах длина волны—высота, связанной с данной спектрограммой;
- расчет длин волн линий спектра сравнения по данным, полученным в процессе считывания, сравнение их с эталонными длинами волн;
- оценка качества построения координатной сетки.

Второй этап — считывание спектра объекта и, если необходимо, спектра ночного неба. В него входят:

- считывание спектра объекта, перевод считанных плотностей в интенсивности, построение равномерной шкалы длин волн с заданным шагом;
- считывание спектра ночного неба, перевод считанных плотностей в интенсивности;
- вычитание спектра ночного неба из спектра объекта.

Последние два пункта выполняются, если возможно и необходимо. Таким образом, на выходе получают значения интенсивность—канал.

**Применение методики считывания на фотометрическом комплексе САО АН СССР.** Описанная выше методика считывания спектрограмм была реализована на фотометрическом комплексе САО АН СССР, в состав которого входит цифровой микроденситометр АМД-1; описание комплекса дано в [5].

Проведено исследование качества работы методики. На рис. 1 приведены измерения спектра сравнения, полученного фотографически на спектрографе UAGS, на микроденситометре АМД-1 и Астроспидометре САО. Разброс значений не превышает 3 мкм, общий подъем зависимости связан с тепловым трендом Астроспидометра за время измерений.

Рис. 2 иллюстрирует точность методики в целом при считывании спектрограмм, получаемых с ЭОП, на рисунке приводятся отклонения вычисленных длин волн спектра сравнения по результатам считывания от их эталонных значений по всей длине спектрограммы (23 мм). Стандартное отклонение 0.26 Å, что при дисперсии спектрограммы 56 Å/мм соответствует 4.5 мкм.

Рис. 3 иллюстрирует точность работы методики при считывании спектрограмм без геометрических и масштабных искажений. Длина считанного участка спектрограммы 78 мм. Стандартное отклонение 0.01 Å, что при дисперсии 2.7 Å/мм соответствует 3.7 мкм.

На рис. 4 приведена запись спектрограммы Мкп 1 (полученной В. Л. Афанасьевым в первичном фокусе БТА 13—14.11.80 на спектрографе UAGS+ЭОП без расширения), считанной по описываемой методике. На рис. 4 видно, как ранее блендированный линией гидроксила ночного неба дублет серы разделился при вычитании спектра ночного неба.

В считанном по описываемой методике спектре  $\alpha$  Воо (дисперсия 2.7 Å/мм в диапазоне 5660—5874 Å на ЭВМ) были выделены линии и рассчитаны их центры тяжести. По этим измерениям вычислена лучевая скорость объекта; поправка за движение Земли не вводилась. Рис. 5 иллюстрирует эти измерения, сделанные по линиям разных элементов, дисперсия измерений 1.5 км/с.

По итогам многочисленных испытаний методики можно сделать следующие выводы о точности ее работы:

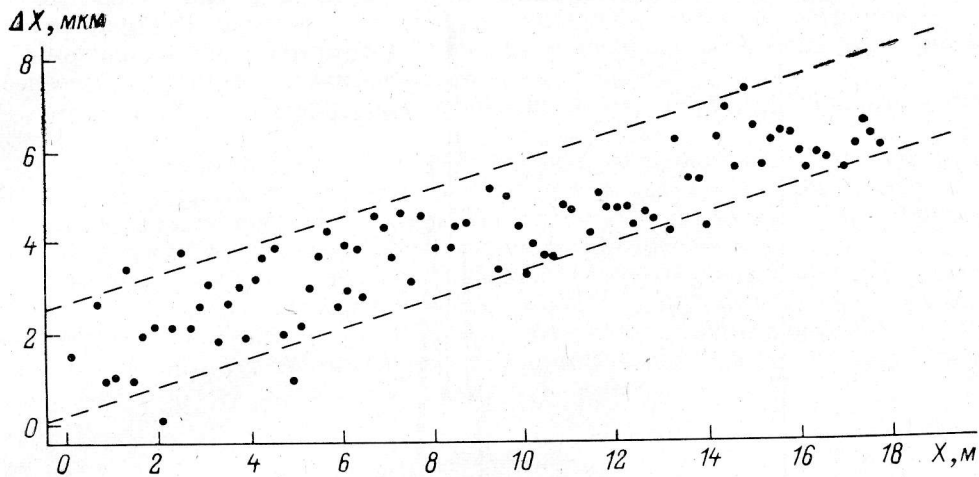


Рис. 1. Измерения спектра сравнения на Астроспидометре САО и АМД-1.  
Общий подъем зависимости связан с тепловым трендом Астроспидометра.

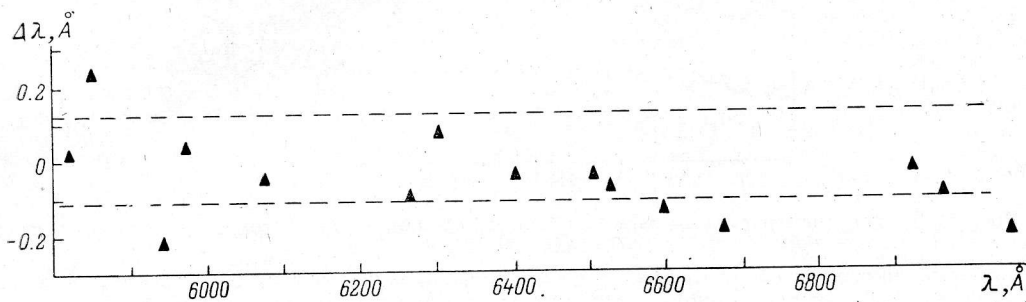


Рис. 2. Уклонения длин волн линий спектра сравнения от их эталонных значений для спектрограммы, полученной с ЭОП.  
Дисперсия 56 Å/мм.

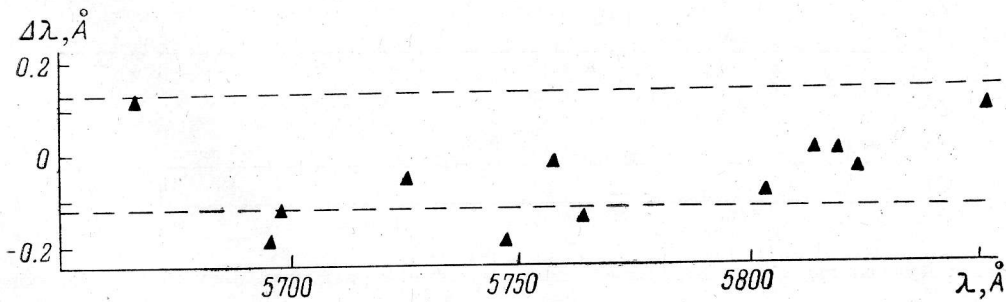


Рис. 3. Уклонения длин волн линий спектра сравнения от их эталонных значений.  
Дисперсия 2.7 Å/мм.

- для обычных спектрограмм точность считывания 2—4 мкм;
- для спектрограмм, получаемых с ЭОП, — не хуже 5 мкм;
- точность построения шкалы длин волн не хуже 5 % от шага по шкале.

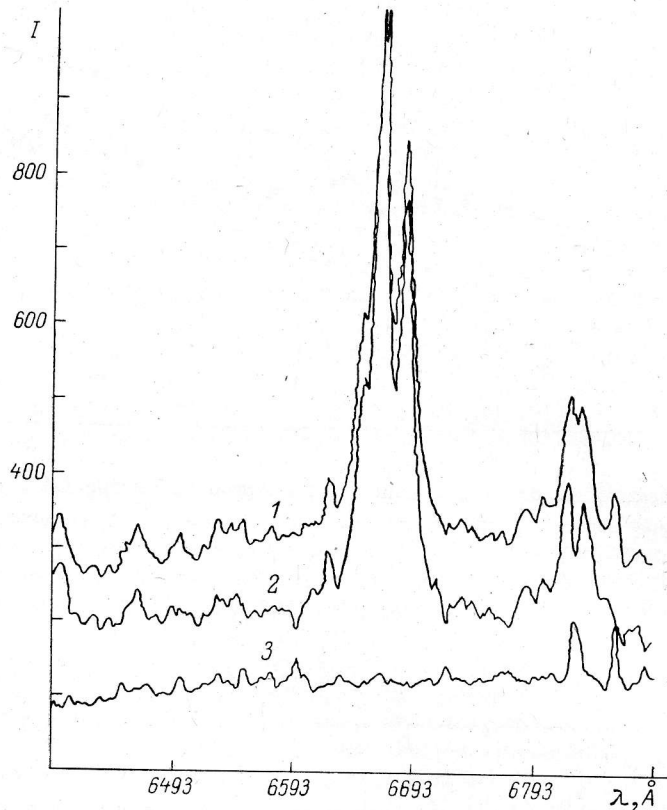


Рис. 4. Запись спектрограммы объекта Мкп 1, сделанная на фотометрическом комплексе САО АН СССР.

Считывание произведено в 5 строк по высоте спектрограммы, щель  $10 \times 100$  мкм, шаг по равномерной шкале длин волн 1 Å. Дисперсия 48 Å/мм. 1 — спектр объекта+спектр ночного неба; 2 — спектр объекта — спектр ночного неба; 3 — спектр ночного неба.

Время считывания спектрограммы определяется скоростью движения стола микроденситометра и для спектрограмм, получаемых с ЭОП (длина спектрограммы 30—35 мм), не превосходит 15—20 мин. Время считывания обычных

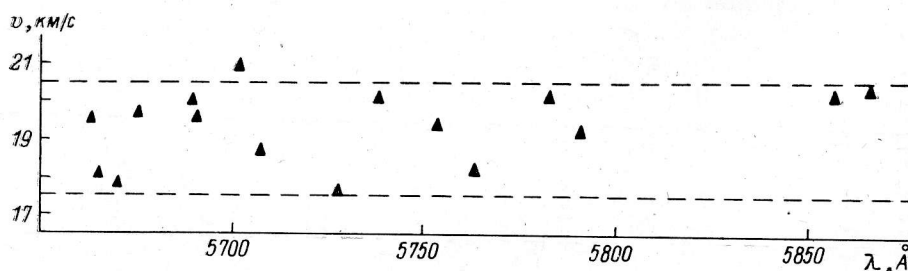


Рис. 5. Лучевая скорость  $\alpha$  Воо, определенная по линиям различных элементов в диапазоне 5660—5874 Å.

Поправка за движение Земли не вводилась.

спектрограмм зависит от их длины и величины расширения (при многострочном считывании). Максимально допустимая для считывания длина спектрограммы 160 мм.

**Заключение.** Резюмируя вышеизложенное, кратко перечислим возможности, предоставляемые данной методикой считывания спектрограмм:

— стандартная форма наблюдательной информации, получаемой в результате считывания, позволяет как применять уже существующие программы обработки спектрограмм, так и создавать новые программы обработки, не учитывающие ту спектральную аппаратуру, на которой была получена спектрограмма;

— существенно повышается скорость и точность обработки спектрограмм (особенно для спектрограмм, получаемых с ЭОП);

— считывание спектрограмм проводится без непосредственного участия астронома.

Предлагаемая методика позволяет строить разнообразные варианты считывания спектрограмм в соответствии с решаемой астрофизической задачей. Например, возможно построить варианты считывания спектрограмм, получаемых с зеемановским анализатором, резателем изображений и т. д.

Опыт работы показывает, что описанная методика считывания спектрограмм не только повышает скорость и точность обработки, но и существенно расширяет возможности астрономов при изучении объектов различных классов.

В заключение автор выражает свою признательность В. Л. Афанасьеву и А. А. Пимонову за поддержку, оказанную работе.

#### Литература

1. Щербановский А. Л., Афанасьев В. Л. Экспрессная обработка спектрограмм внегалактических объектов. 1. Предварительная обработка. — Сообщ. САО, 1976, 16, с. 25—34.
2. Шаповалова А. И., Щербановский А. Л. Экспрессная обработка спектрограмм внегалактических объектов. 2. — Сообщ. САО, 1978, 22, с. 49—60.
3. Шаповалова А. И., Щербановский А. Л. Экспрессная обработка спектрограмм галактик и звезд. 3. — Сообщ. САО, 1979, 25, с. 55—66.
4. Гришин М. П. Автоматическая обработка фотографических изображений с применением ЭВМ. Минск: Наука и техника, 1976.
5. Буренкова О. С., Коровяковская А. А., Назаренко И. И. Система сканирования и предварительной обработки спектров на фотометрическом комплексе САО АН СССР. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1982, 16, с. 108—115.
6. Афанасьев В. Л. Редукция масштабных искажений спектрограмм, полученных с электронно-оптическим преобразователем. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 11, с. 51—55.

Поступила в редакцию 22 апреля 1983 г.