

УДК 524.822;524.72-355

БИБЛИОТЕКА ОПОРНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИИ ГАЛАКТИК ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

© 2008 С. Н. Додонов¹, И. В. Чилингарян²

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Государственный астрономический институт им. Штернберга

Поступила в редакцию 9 августа 2007 г.; принята в печать 28 августа 2007 г.

В работе приводится описание библиотеки опорных спектров галактик, созданной на основе уже опубликованных данных, а также находящихся в открытом доступе данных, полученных с ультрафиолетовых спутников IUE (International Ultraviolet Explorer) и HUT (Hopkins Ultraviolet Telescope). В работе описаны процедуры создания композитных спектров объектов, приводятся некоторые параметры полученных спектров.

1. ВВЕДЕНИЕ

Оценка фотометрических красных смещений объектов (т. е. оценка красных смещений объектов по фотометрическим данным, полученным в нескольких фильтрах), основанная на идеях Baun [1], недавно вновь стала популярной в связи с увеличивающимся числом фотометрических обзоров. Метод позволяет делать оценки красных смещений большого количества объектов с достаточной для статистических исследований точностью ($\delta Z \approx 0.03 - 0.05$). Для слабых объектов ($R < 23$) спектроскопические красные смещения получить очень трудно даже при использовании крупнейших телескопов, и массовая оценка красных смещений объектов по данным фотометрических наблюдений является единственно возможной.

Суть методики оценки фотометрических красных смещений объектов состоит в сравнении распределения энергии в спектре объекта с опорным распределением энергии из библиотеки распределений энергии известных объектов или модельных распределений энергии. Красное смещение и спектральный тип, связанные с опорным распределением энергии, которое наилучшим образом соответствует распределению энергии в исследуемом спектре, обычно считают оценкой фотометрического красного смещения объекта и/или его спектрального типа. Критическим для данного метода является набор опорных распределений энергии.

Обычно используются следующие варианты библиотек опорных распределений энергии:

- Экспериментальные распределения энергии: в этом случае используются наблюдаемые

распределения энергии для различных типов объектов [2–4]. Основная проблема состоит в недостатке информации о распределениях энергии разных типов объектов в широком диапазоне красных смещений или, что то же самое, в большом диапазоне длин волн. Низкое отношение сигнал/шум в ультрафиолетовой части спектра создаёт трудности в определении красных смещений объектов с $Z \gtrsim 1.0 - 1.5$ и вносит существенные ошибки в определение спектрального типа объекта.

- Синтетические распределения энергии: в этом случае используются модельные распределения энергии [5]. Проблемой является необходимость конструирования реалистичных распределений энергии для широкого диапазона красных смещений и выбор осмысленных эволюционных моделей.
- Комбинация экспериментальных и синтетических распределений энергии [6].

При разработке методики оценки фотометрических красных смещений и классификации объектов мы отдали предпочтение экспериментальным распределениям энергии по следующим соображениям:

1. Используя до настоящего времени библиотеку экспериментальных опорных распределений энергии [7, 8], несмотря на ограниченность спектрального диапазона и

низкое отношение сигнал/шум в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, давали хорошие результаты при определении фотометрических красных смещений и типов объектов.

2. Существующие в настоящее время наблюдательные спектральные данные о галактиках в широком диапазоне красных смещений ($0 < Z < 6.0$) указывают на отсутствие принципиальных отличий в распределении энергии у близких и далёких объектов (в библиотеку опорных распределений энергии входят в основном данные о близких объектах).
3. К настоящему времени накоплено большое количество наблюдательных данных в широком ($800\text{--}10000 \text{ \AA}$) диапазоне длин волн, пригодных для классификации объектов и оценки их фотометрических красных смещений.

В разделе 2 приводится описание процедуры создания библиотеки опорных спектров галактик на основе уже опубликованных данных [8], а также находящихся в открытом доступе данных с ультрафиолетовых спутников IUE (International Ultraviolet Explorer) и HUT (Hopkins Ultraviolet Telescope). В разделе 3 описаны полученные композитные спектры объектов, в разделе 4 приводятся некоторые параметры полученных спектров.

2. ПРОЦЕДУРА СОЗДАНИЯ БИБЛИОТЕКИ ОПОРНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИИ

Библиотека опорных спектров галактик, часто используемых для оценки фотометрических красных смещений [8], содержит спектры всех типов нормальных галактик по классификации Хаббла, спектр балджа, 6 спектров галактик со вспышкой звездообразования и с различной величиной внутригалактического поглощения, а также спектры активных галактик — LINER, Сейферт-2, Сейферт-1 и квазар. В дополнение к этому приведен модельный спектр сейфертовской галактики NGC 1068. С использованием библиотеки опорных спектров [8] возможна классификация внегалактических объектов и определение фотометрических красных смещений в диапазоне от 0 до 2 в связи с ограниченностью спектрального диапазона ($1200\text{--}9000 \text{ \AA}$). Следует отметить, что в диапазоне длин волн $1200\text{--}2700 \text{ \AA}$ опорные спектры [8] имеют низкое отношение сигнал/шум. В настоящее время публично доступны (через Интернет по адресу <http://archive.stsci.edu/>) все данные с IUE (International Ultraviolet Explorer), HUT (Hopkins

Ultraviolet Telescope) и несколько тысяч спектров из обзора SDSS. Для построения далекой ультрафиолетовой части спектров (короче 1700 \AA) нами использовались только данные внеатмосферной ультрафиолетовой спектроскопии (IUE и HUT), для более длинноволнового диапазона — данные библиотеки [8].

Недостатком ультрафиолетовых спектров, полученных в околоземном пространстве, является наличие мощных геокорональных эмиссионных линий, возникающих в верхних слоях атмосферы. Области спектра, куда они попадают, обычно оказываются непригодными к использованию и должны исключаться из процесса создания композитного спектра.

2.1. Алгоритм сложения спектров IUE и HUT

Для создания композитных спектров был разработан специальный алгоритм, позволяющий использовать данные даже с низким отношением сигнал/шум, в большинстве случаев с улучшением отношения сигнал/шум результирующего спектра.

Предварительная обработка блока спектров IUE и HUT заключается в учете поглощения внутри Галактики для каждого объекта, приведении длин волн к покоящейся системе отсчета (далее по тексту *restframe*), исключении непригодных к использованию участков длин волн в каждом спектре и сортировке спектров по типам объектов. Учет влияния Галактики для каждого объекта осуществлялся согласно параметризации Фицпатрика [9] для закона поглощения, при этом использовалось значение экстинкции E_{B-V} в направлении на объект, рассчитанное по картам излучения пыли, полученным в результате обзора IRAS [10], для расчета было выбрано общепринятая в настоящее время величина $R_V = 3.1$.

При чтении заголовка FITS-файла спектра делается обращение в совмещенную базу данных HyperLEDA [11] + Véron AGN and QSO [12] по координатам и имени объекта, при этом определяется лучевая скорость объекта или красное смещение и морфологический тип, либо тип активности ядра. В случае, если объект не отождествлялся по базе данных, он исключался из выборки. Затем записывается файл со спектром объекта, где длины волн приведены к нулевой лучевой скорости. При этом диапазоны длин волн, в которые попадают геокорональные эмиссионные линии, отмечаются специальным флагом, что присваивает им нулевой вес при формировании композитного спектра. Наиболее яркая геокорональная линия *Ly α* , что создает большие трудности при построении спектра в этой области. Корректно построить область *Ly α* , хотя и с меньшим отношением сигнал/шум, позволяет

различие лучевых скоростей объектов выборки. Ширина геокорональной $Ly\alpha$ такова, что красного смещения $z = 0.01$ достаточно, чтобы $Ly\alpha$ объекта с ней разделялась. Алгоритм реализован в среде RSI IDL [13]. На каждом шаге построения композитного спектра возможен графический вывод, что позволяет контролировать процесс его формирования. Сущность алгоритма заключается в следующем:

- 1) для каждого спектра выбирается вес, равный отношению сигнал/шум на заданном участке спектра (проводится робастная оценка дисперсии отсчетов в континууме), либо произведению отношения сигнал/шум и отношения потока текущего спектра к потоку первого спектра из выборки спектров в данном диапазоне;
- 2) при добавлении очередного спектра для него строится вектор весов, равный значению, определенному в 1), во всех точках, где нет пометки об исключении данных (например, в местах расположения ионосферных эмиссионных линий) и нулю в точках, где пометка есть; таким образом, добавляемый спектр зануляется в областях, помеченных как "плохие";
- 3) векторы весов суммируются параллельно со спектрами, а в качестве окончательного варианта композитного спектра берется отношение суммарного спектра к суммарному весовому вектору. Этим достигается сохранение формы спектра в тех частях, где отсутствуют данные для некоторых спектров, то есть добавление нового спектра увеличивает отношение сигнал/шум в области, где он определен, и не ухудшает там, где он не определен;
- 4) возможен дополнительный второй проход алгоритма по списку, когда с использованием уже построенного спектра определяется взвешенная оценка отличия на данной длине волны использованных индивидуальных спектров от полученного композитного.

Процесс создания композитного спектра показан на рис. 1.

При добавлении каждого спектра возможно его сглаживание скользящим средним с заданным окном. Все композитные спектры, используемые в данной работе, были построены со сглаживанием с окном 5\AA .

Все спектры для каждого из типов создаваемых суммарных спектров (всего около 6000 в

двух диапазонах), были просмотрены визуально для исключения ошибок отождествления по базам данных. Благодаря этому были исключены не пригодные для задачи спектры (порядка 2–3% от общего числа), к примеру, с малыми временами накопления, со сбоями в системе регистрации и неверным отождествлением, которые невозможно отделить, анализируя FITS-заголовки.

3. РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ СУММАРНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Получены суммарные ультрафиолетовые спектры нормальных галактик различных морфологических типов: E, S0, Sa, Sb, Sc, 2 спектра галактик со вспышкой звездообразования — с сильным и слабым внутrigалактическим поглощением в диапазоне длин волн $912\text{--}3200\text{\AA}$, спектры активных ядер типа LINER с широкими линиями, Сейферт-2 и Сейферт-1. Наилучшее отношение сигнал/шум (больше 400 в континууме) имеет спектр активного ядра типа Сейферт-1 в области от 1216\AA до 1950\AA (коротковолновая камера IUE).

На рисунках 2–11 представлены суммарные спектры нормальных и активных галактик, ультрафиолетовая часть которых получена вышеописанным методом. Все рисунки приведены в логарифмической шкале по обеим осям, на спектрах отмечены основные эмиссионные и абсорбционные детали.

Спектральное разрешение всех спектров плавно изменяется от $R \sim 120\text{--}150$ ($7\text{--}10\text{\AA}$) в ультрафиолетовой части спектра до $250\text{--}300$ ($35\text{--}40\text{\AA}$) в красной части ($\lambda \sim 1\mu m$). Исключение составляет спектр эллиптической галактики в диапазоне $2000\text{--}2400\text{\AA}$, который был сглажен с окном 25\AA с целью улучшения отношения сигнал-шум.

Для построения спектров нормальных галактик использовалось от 30 (S0-галактики) до 120 (эллиптические галактики) отдельных спектров галактик каждого морфологического типа в каждом из диапазонов длин волн IUE, а также все имеющиеся данные с HUT. Для построения спектра сейфертовской галактики второго типа было использовано 78 индивидуальных IUE-спектров, 6 спектров HUT в дальней УФ-области ($800\text{--}1970\text{\AA}$) и 49 спектров в ближней УФ-области ($1850\text{--}3300\text{\AA}$) объектов, классифицированных как S2 либо S1h в каталоге Véron and Véron-Cetty [12], для построения спектра LINER с широкими линиями было использовано порядка 35 спектров в каждой области. Наиболее обширная выборка была использована при построении спектра Сейферт-1 (около 2000 в дальней и около 1200 в ближней УФ-области),

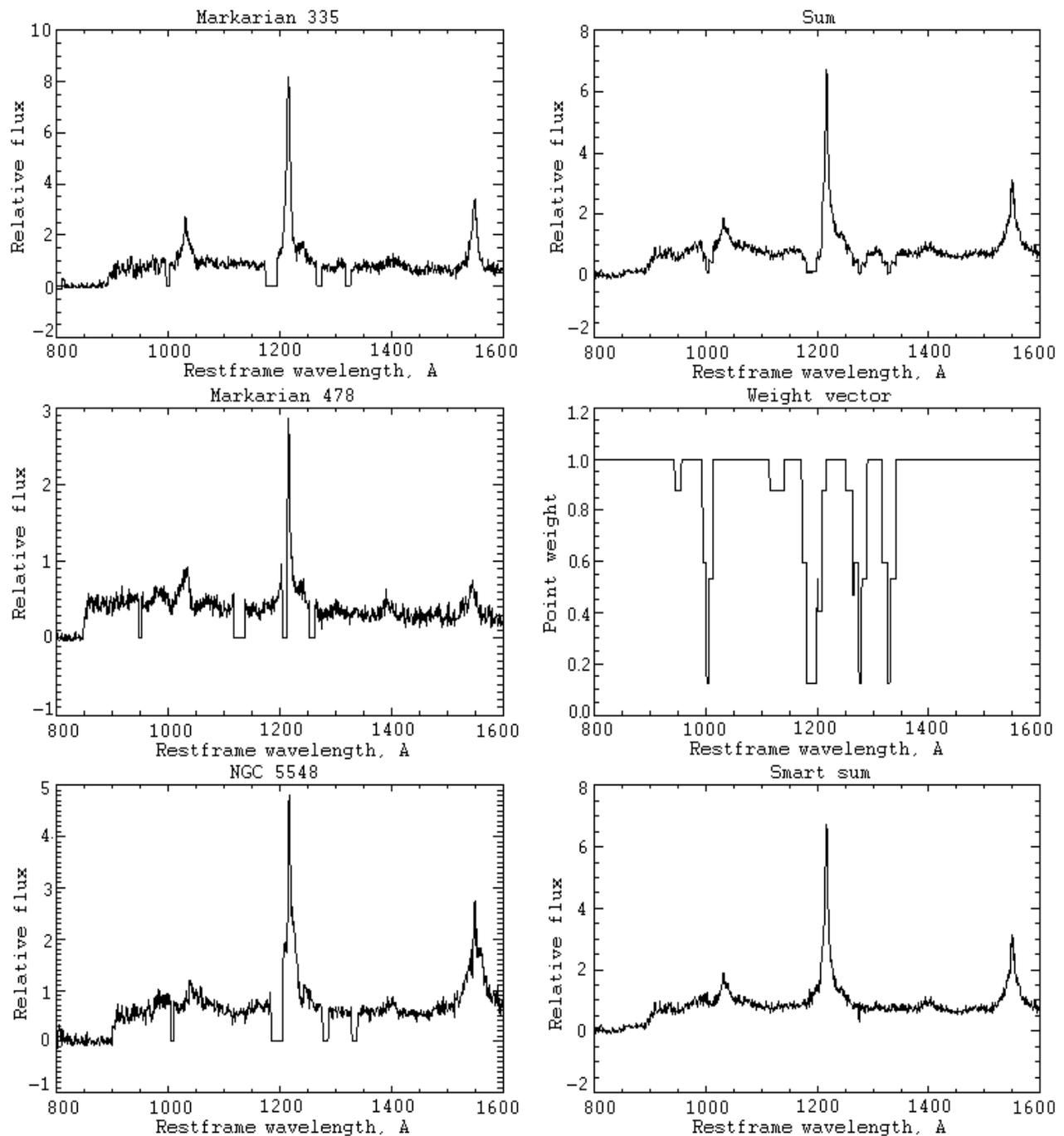


Рис. 1. Пример построения композитного спектра с использованием данных, полученных на Hopkins Ultraviolet Telescope. Три графика слева — индивидуальные спектры сейфертовских галактик первого типа с провалами в местах присутствия ионосферных эмиссионных линий. Правый верхний график — их взвешенная сумма, средний — весовой вектор, нижний — отношение суммы и весового вектора — окончательный композитный спектр. Поток указан в относительных единицах ($F\lambda$). Мощная эмиссионная линия вблизи центра диапазона — $Ly\alpha$.

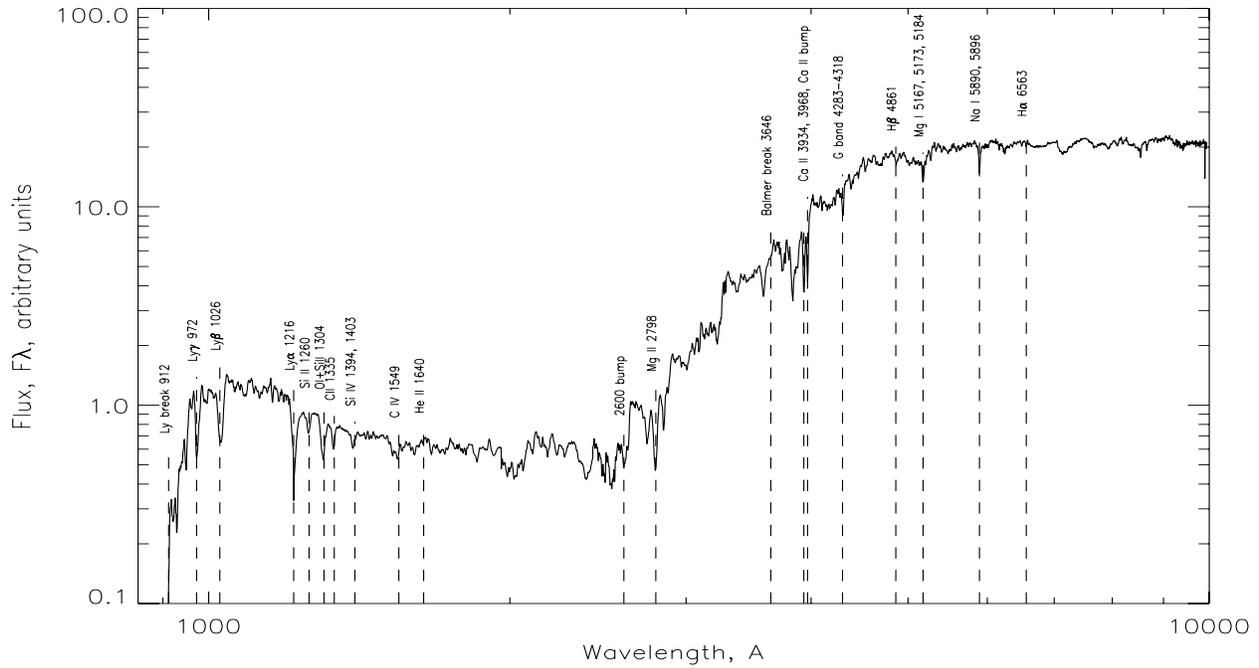


Рис. 2. Композитный спектр эллиптической галактики.

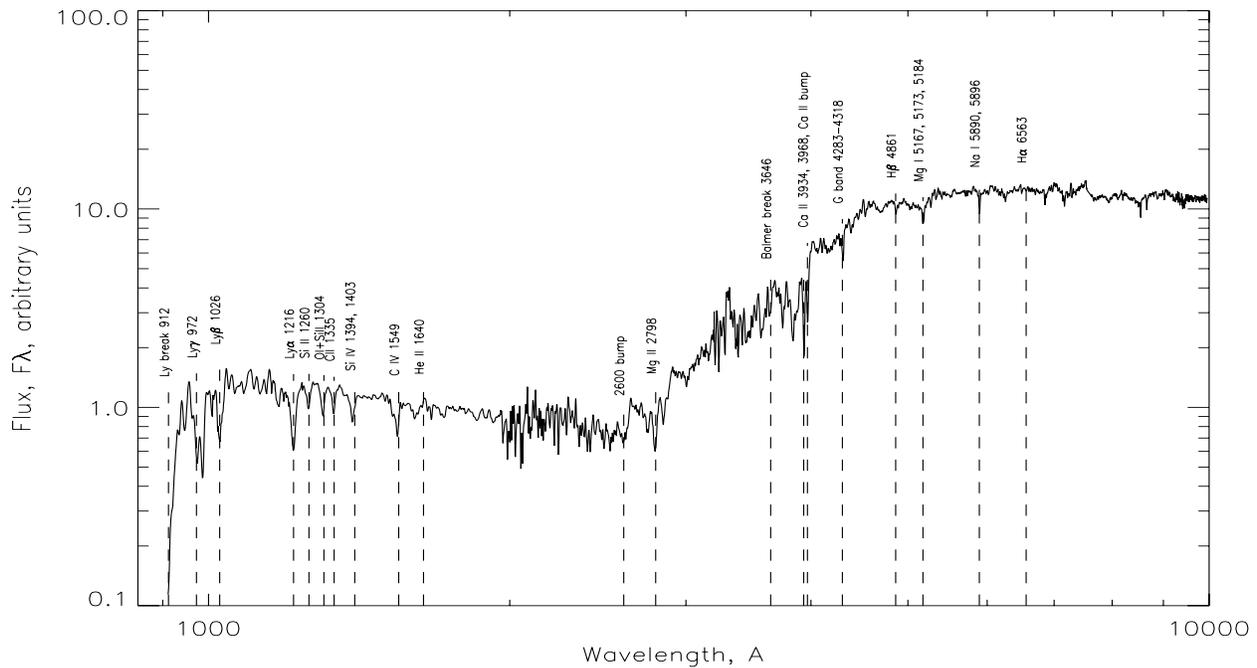


Рис. 3. Композитный спектр линзовидной галактики.

чем и объясняется очень высокое отношение сигнал/шум в его спектре.

Оптическая часть всех спектров, за исключением Сейферт-1, взята из работы [8]. Опорный

спектр слабо активного ядра типа LINER в работе [8] представлен спектром галактики M81. С целью увеличения ширины диапазона в качестве красного продолжения данного спектра были использованы

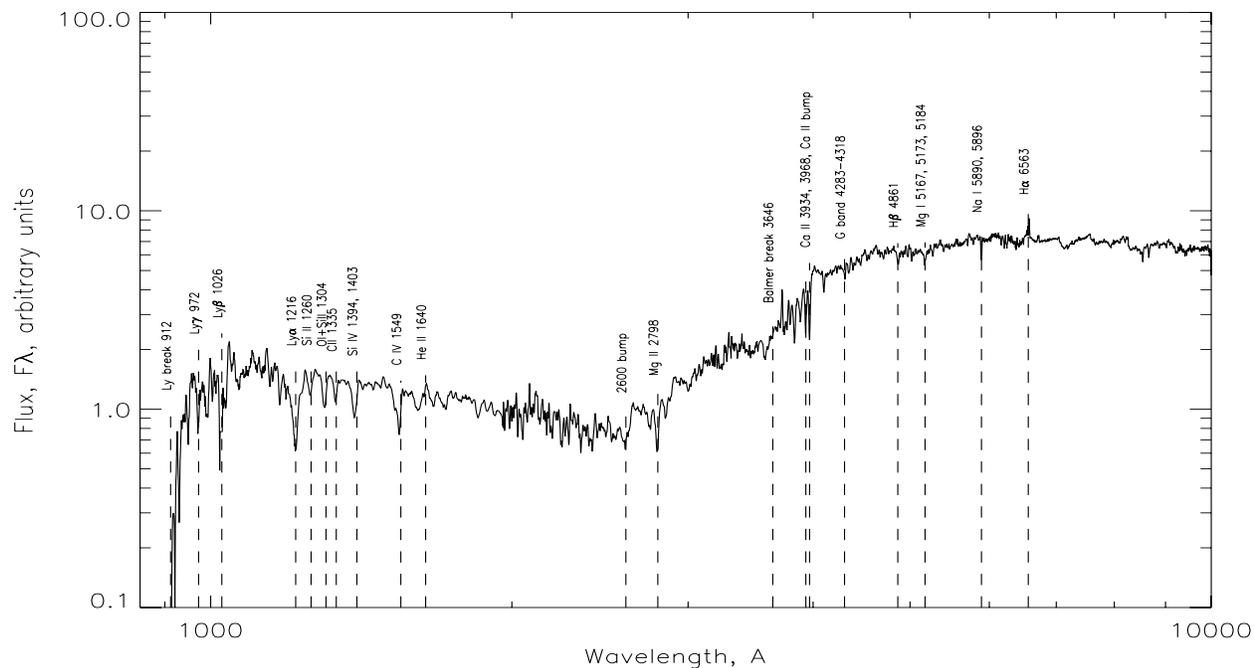


Рис. 4. Композитный спектр галактики типа Sa/SBa.

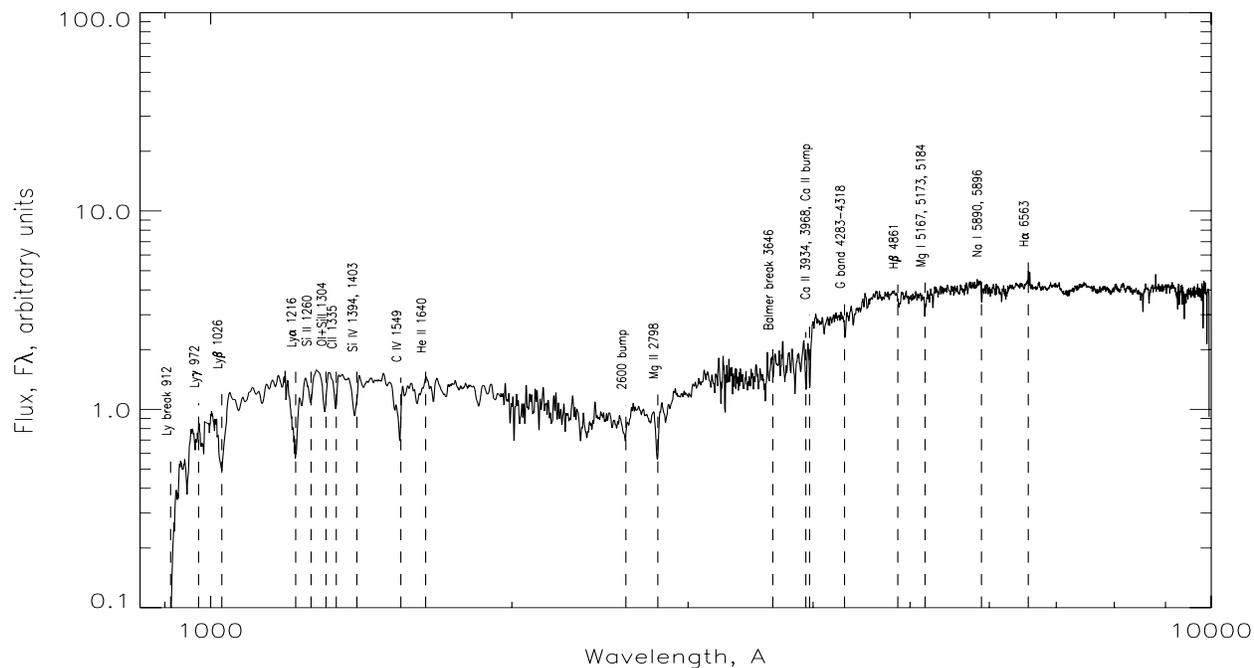


Рис. 5. Композитный спектр галактики типа Sb/SBb.

спектры объектов из “Атласа спектров близких галактик” [14], классифицированных как S3b в каталоге активных объектов Véron and Véron-Cetty [12]. Спектры галактик со вспышками звездооб-

разования построены с использованием спектров только тех объектов, которые присутствуют в списках SB1 и SB6 в работе [8].

В [8] спектр активного ядра типа Сейферт-1

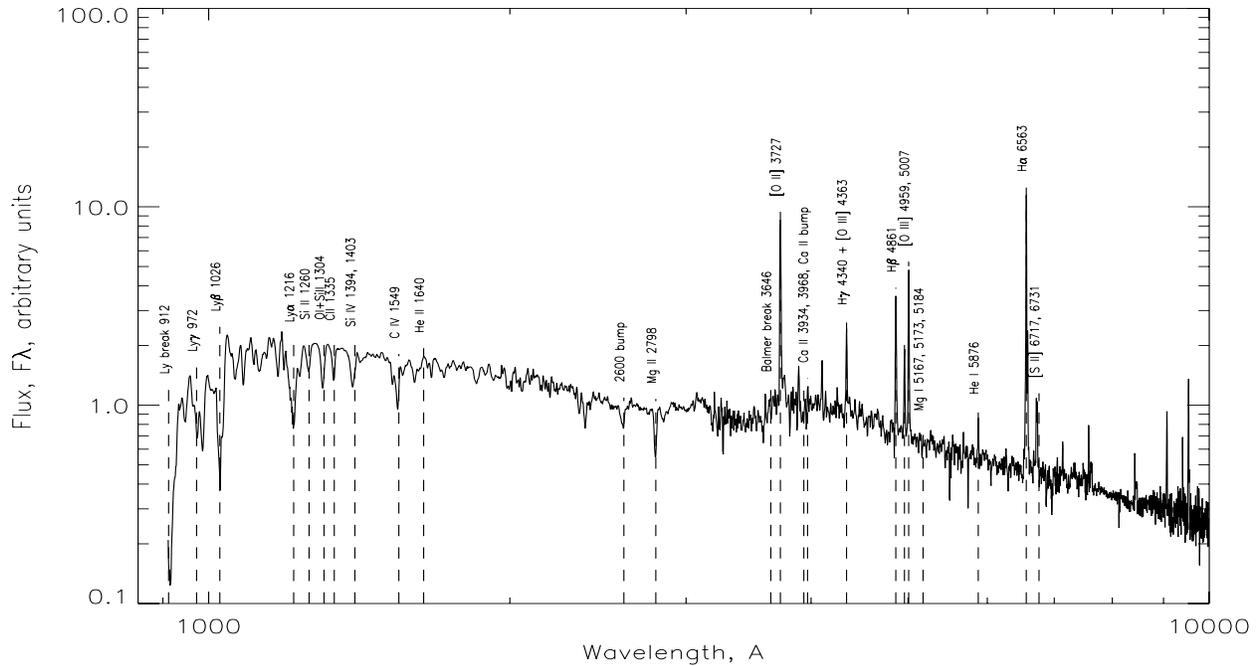


Рис. 6. Композитный спектр галактики типа Sc/SBc/Scd/SBcd.

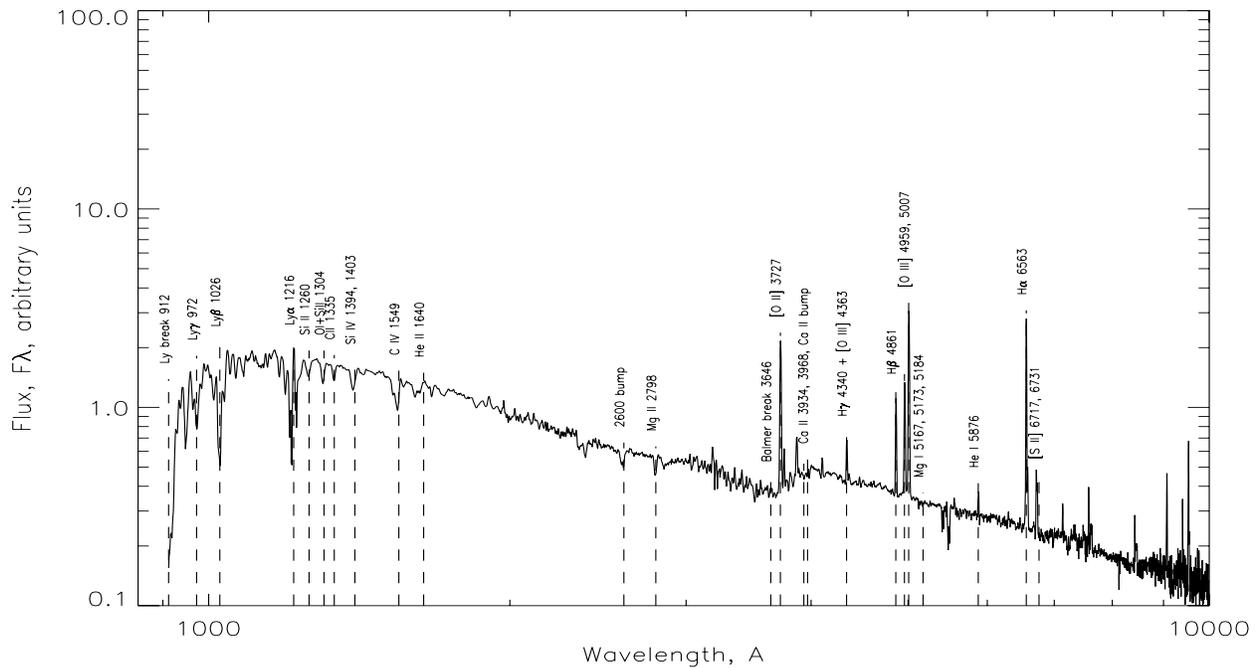


Рис. 7. Композитный спектр галактики со вспышкой звездообразования со слабым внутренним поглощением.

(NGC 5548) отсутствует в диапазоне длин волн больше 7100\AA , в связи с чем в ночь с 6 на 7 июня 2002 года на 6-м телескопе был снят спектр типичного представителя Сейферт-1 — галактики

Mkn 279, в диапазоне $3700\text{--}10000\text{\AA}$, что соответствует длинам волн $3670\text{--}9900\text{\AA}$ при приведении спектра к restframe. Наблюдения проводились на спектрографе SCORPIO [15] в длиннощелевом ре-

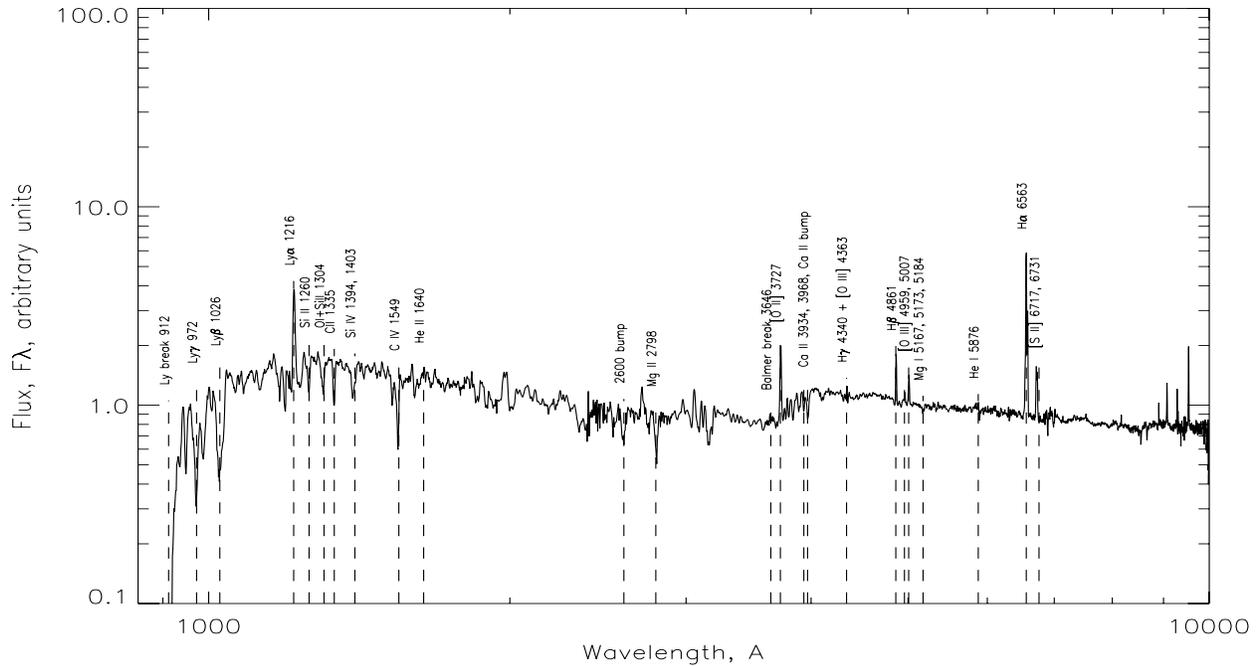


Рис. 8. Композитный спектр галактики со вспышкой звездообразования с сильным внутренним поглощением.

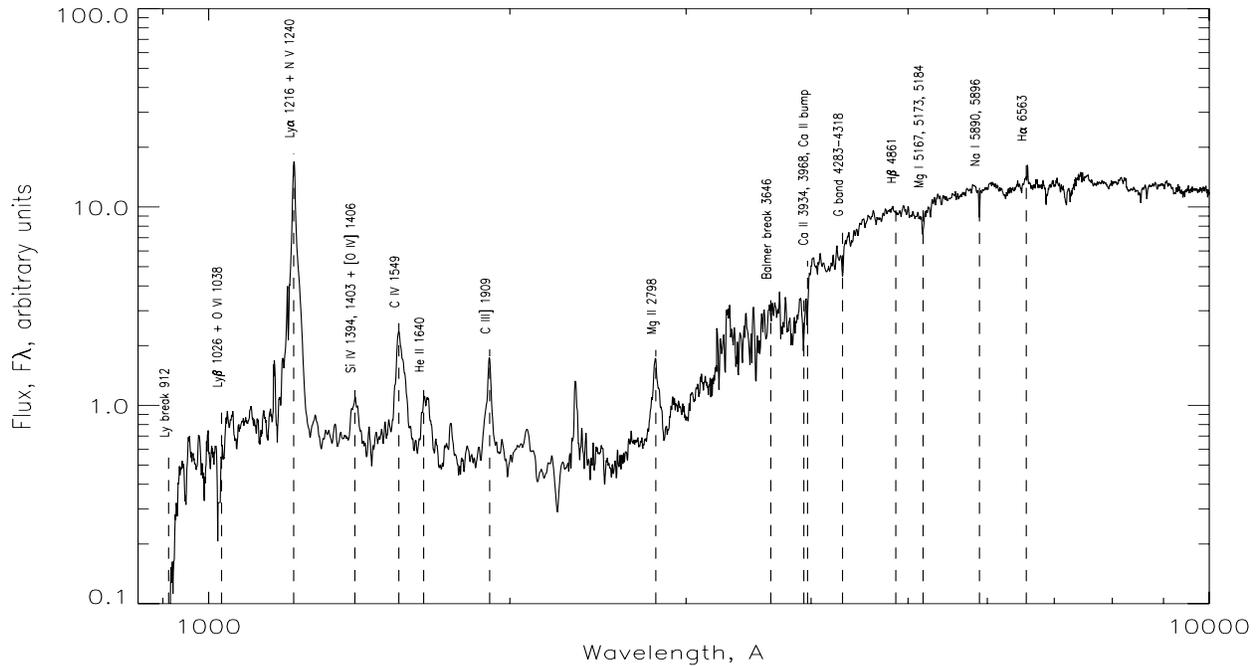


Рис. 9. Композитный спектр галактики со слабо активным ядром типа LINER с широкими эмиссионными линиями.

жиме с решеткой 300 штр/мм, спектральное разрешение полученного спектра 20\AA . Спектр интегрировался по всей части галактики, попавшей в щель шириной 2 arcsec. Отношение сигнал/шум состав-

ляет 70 в континууме в районе $H\alpha$ и убывает до 15 на длине волны 9900\AA . Эти данные использованы для расширения диапазона спектра из [8] в красную область.

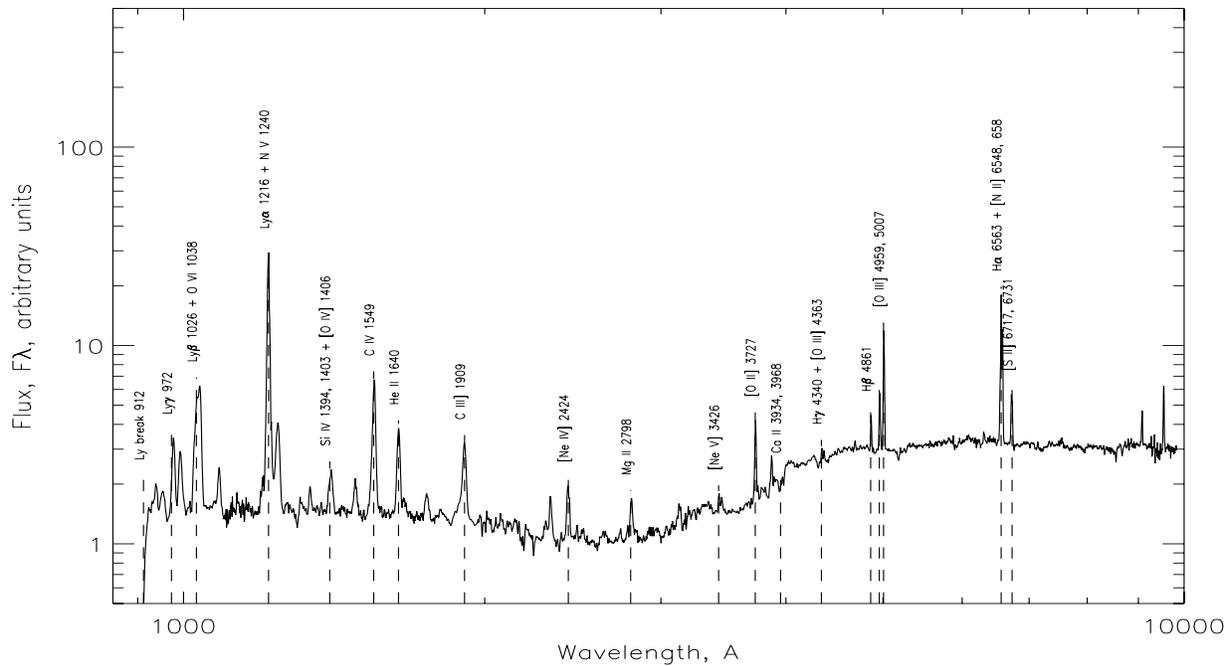


Рис. 10. Композитный спектр активной галактики типа Сейферт-2.

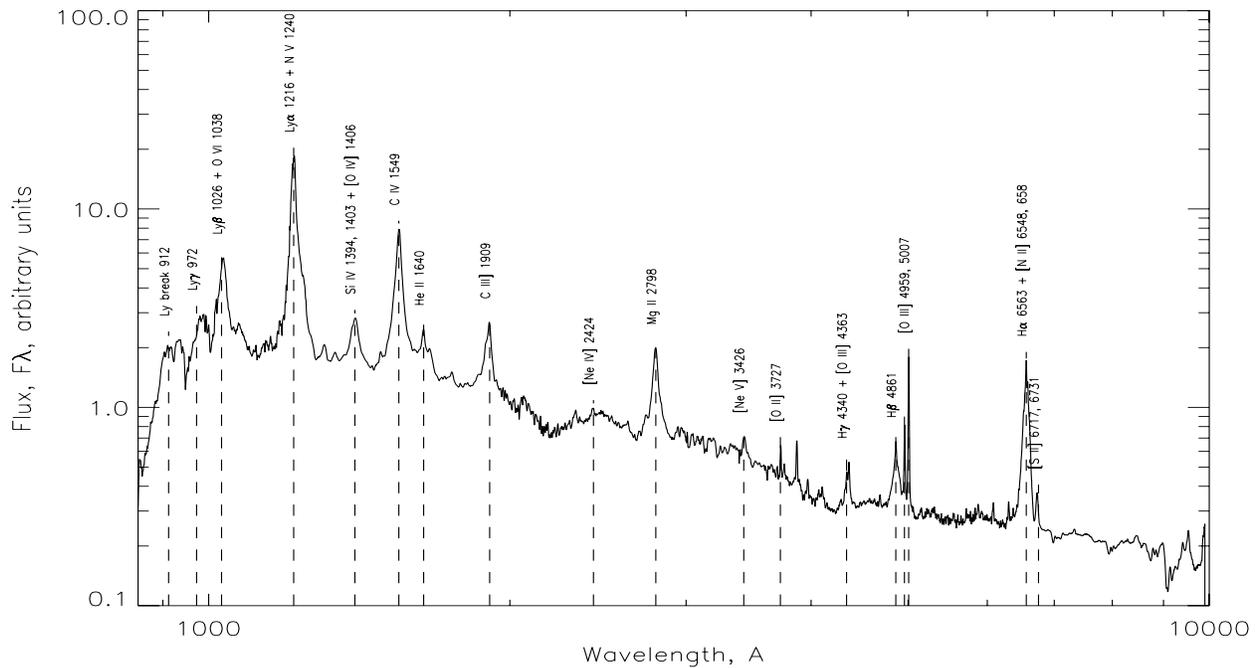


Рис. 11. Композитный спектр активной галактики типа Сейферт-1.

4. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СУММАРНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИИ

В табл. 1, 2 приведены основные параметры спектров нормальных галактик, представляющие

собой амплитуды “скачков” в распределении энергии в спектре, в виде отношения потоков на заданных интервалах длин волн и разности звездных величин. Различие между двумя таблицами заклю-

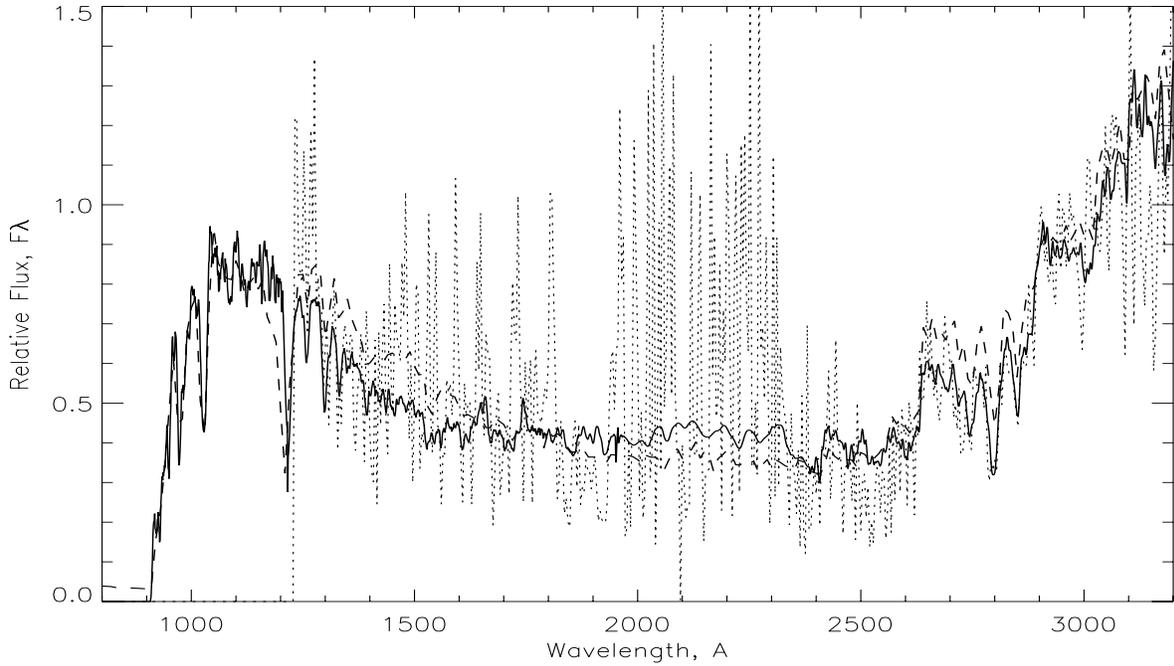


Рис. 12. Сравнение композитного спектра эллиптической галактики, построенного в данной работе (сплошной график), теоретического спектра эллиптической галактики возрастом 12 Гигалет, синтезированного с помощью системы PEGASE (штриховый график) и спектра из работы Kinney et al. [8] (пунктирный график).

чается в использовании различных представлений спектра. В табл. 1 даны параметры для спектра, представленного в виде спектральной плотности потока на интервал частот F_ν . При этом отношение потоков вычисляется по формуле:

$$D_\lambda = \frac{(\lambda_2^- - \lambda_1^-) \int_{\lambda_1^+}^{\lambda_2^+} F_\nu(\lambda) d\lambda}{(\lambda_2^+ - \lambda_1^+) \int_{\lambda_1^-}^{\lambda_2^-} F_\nu(\lambda) d\lambda} = \frac{(\lambda_2^- - \lambda_1^-) \int_{\lambda_1^+}^{\lambda_2^+} \lambda^2 F_\lambda(\lambda) d\lambda}{(\lambda_2^+ - \lambda_1^+) \int_{\lambda_1^-}^{\lambda_2^-} \lambda^2 F_\lambda(\lambda) d\lambda}. \quad (1)$$

Помимо отношения потоков в таблице дается разность АВ-величин. В табл. 2 даны параметры для спектра, представленного в виде спектральной плотности потока на интервал длин волн F_λ . При этом отношение потоков вычисляется по формуле

2:

$$B_\lambda = \frac{(\lambda_2^- - \lambda_1^-) \int_{\lambda_1^+}^{\lambda_2^+} F_\lambda(\lambda) d\lambda}{(\lambda_2^+ - \lambda_1^+) \int_{\lambda_1^-}^{\lambda_2^-} F_\lambda(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

В дополнение к отношениям потоков в таблице даны разности ST-величин.

Для каждого спектра измерены 4 отношения потоков — отношение потока в оптическом диапазоне к потоку в далеком УФ-диапазоне ($Opt./FUV$ в таблицах), амплитуда скачка около 4000\AA (D_{4000}, B_{4000}), амплитуда бальмеровского скачка (H_{lim}) и амплитуда скачка в районе 2630\AA (D_{2630}, B_{2630}). В таблице в заголовках колонок ΔAB и ΔST приведены длины волн $(\lambda_2^+ + \lambda_1^+)/2$ и $(\lambda_2^- + \lambda_1^-)/2$. Диапазоны интегрирования составляют 200\AA для D_{4000}, B_{4000} (общепринятое определение, [16]) и 100\AA для остальных скачков. В табл. 3-5 приведены параметры основных эмиссионных деталей в спектрах активных объектов. Они включают в себя: эффективную длину волны, “начало” и “конец” спектральной детали, принявшиеся в качестве пределов интегрирования для определения потоков, отношение потока в данной

Таблица 1. Параметры основных деталей в композитных спектрах нормальных галактик и галактик со вспышкой звездообразования. Burst1 и Burst2 — галактики со вспышкой звездообразования со слабым и сильным внутренним поглощением соответственно. Представление спектра в виде $F_\nu(\lambda)$

	Opt./FUV	ΔAB 1490–5000Å	D_{4000}	ΔAB 3850–4150Å	H_{lim}	ΔAB 3600–3720Å	D_{2630}	ΔAB 2600–2660Å
E	229	5.9	2.4	0.9	1.5	0.4	1.6	0.5
S0	82.2	4.8	2.4	1.0	1.3	0.3	1.3	0.3
Sa	44.8	4.1	1.8	0.6	1.8	0.6	1.4	0.4
Sb	31.8	3.8	1.9	0.7	1.1	0.1	1.3	0.3
Sc	13.4	2.8	1.1	0.1	3.9	1.5	1.2	0.2
Burst1	8.9	2.4	1.1	0.1	2.4	1.0	1.2	0.2
Burst2	8.1	2.3	1.3	0.3	1.5	0.4	1.3	0.3

Таблица 2. То же, что в табл. 1, для представления спектра в виде $F_\lambda(\lambda)$

	Opt./FUV	ΔST 1490–5000Å	B_{4000}	ΔST 3850–4150Å	H_{lim}	ΔST 3600–3720Å	B_{2630}	ΔST 2600–2660Å
E	20.3	3.3	2.0	0.8	1.4	0.3	1.6	0.5
S0	7.3	2.2	2.1	0.8	1.2	0.2	1.3	0.3
Sa	4.0	1.5	1.6	0.5	1.7	0.6	1.3	0.3
Sb	2.8	1.1	1.7	0.5	1.1	0.1	1.2	0.2
Sc	1.2	0.2	0.9	-0.1	3.6	1.4	1.2	0.2
Burst1	0.8	-0.3	1.0	-0.0	2.3	0.9	1.1	0.1
Burst2	0.7	-0.4	1.1	0.2	1.4	0.4	1.3	0.2

спектральной детали, исключая континуум, к соответствующему потоку для $Ly\alpha + N V$, умноженное на 100 (Rel.Flux), эквивалентную ширину, рассчитанную формально для континуума, проведенного сплайном по узлам, лежащим в свободных от ярких эмиссионных деталей областях (eq.W), ширину спектральной детали по формально вписанному гауссову контуру W_{sigma} и ее идентификацию.

Мы провели сравнение полученных спектров с композитными спектрами из работы [8] и синтетическими спектрами галактик, полученными методом эволюционного синтеза с помощью системы PEGASE [17].

Для примера на рис. 12 приведено сравнение трех опорных спектров эллиптической галактики. Обращает на себя внимание то, что спектр из работы [8] имеет систематическое отличие в сторону увеличения потока в диапазоне длин волн 2000–2200Å, что может быть связано с малой выборкой объектов, использованных для его создания, и тем

Таблица 3. Параметры ряда деталей композитного спектра галактики со слабо активным ядром типа LINER

λ_{eff}	Start	End	Rel.Flux	eq.W	W_σ	Identification
1217.0	1186	1286	100.0	337.41	10.64	$Ly\alpha + N V$
1127.3	1018	1054	0.2	1.22	–	$Ly\beta + O VI$
1397.6	1353	1454	3.5	14.17	9.00	$Si IV + O IV]$
1552.1	1452	1602	23.6	108.62	19.38	C IV
1909.6	1828	1976	12.1	61.38	20.25	C III]
2781.3	2650	2916	7.8	26.51	13.00	Mg II
3722.2	3712	3742	8.9	12.34	7.03	[O II]

фактом, что этот диапазон на спектрах IUE имеет наименьшее отношение сигнал/шум по сравнению со всем остальным диапазоном (1250–3200Å), так как он находится около границы разделения

Таблица 4. Параметры ряда деталей композитного спектра AGN типа Sy2

λ_{eff}	Start	End	Rel.Flux	eq.W	W_σ	Identification
1215.8	1200	1230	100.0	144.01	4.08	$Ly\alpha + N V$
1033.8	1018	1054	27.2	35.55	4.91	$Ly\beta + O VI$
1549.9	1530	1570	32.9	53.64	6.39	C IV
1903.8	1850	1960	22.4	38.98	14.71	C III]
2803.9	2785	2825	5.5	11.34	7.82	Mg II
3729.2	3710	3745	16.3	20.64	6.02	[O II]
4866.1	4840	4885	8.7	6.35	4.62	$H\beta$
4962.8	4942	4976	21.1	15.71	6.07	[O III]
5011.3	4986	5044	62.8	46.41	7.02	[O III]
6563.5	6390	6680	185.9	126.09	31.81	$H\alpha + [N II]$
6722.3	6680	6800	28.8	19.54	1.97	[S II]

Таблица 5. Параметры ряда деталей композитного спектра AGN типа Sy1

λ_{eff}	Start	End	Rel.Flux	eq.W	W_σ	Identification
1219.5	1186	1286	100.0	204.16	14.00	$Ly\alpha + N V$
1034.4	1018	1054	17.5	31.13	7.91	$Ly\beta + O VI$
1399.8	1353	1454	8.1	18.03	12.08	Si IV + O IV]
1548.1	1452	1602	56.0	142.69	20.60	C IV
1900.1	1828	1976	14.1	44.51	21.81	C III]
2793.4	2650	2916	18.4	100.07	33.52	Mg II
3730.3	3712	3742	0.5	4.14	3.17	[O II]
4943.0	4704	5112	14.2	183.79	69.12	$H\beta$
4959.9	4942	4976	2.2	28.40	7.04	[O III]
5008.4	4986	5044	5.9	78.57	8.17	[O III]
6556.5	6390	6680	33.8	531.99	48.98	$H\alpha + [N II]$
6727.4	6680	6800	1.5	23.54	20.03	[S II]

диапазонов спектрографа IUE. Аналогичная ситуация наблюдается для всех типов нормальных галактик при сравнении трех видов опорных спектров.

Как видно на рис. 12, композитный спектр, построенный в данной работе по вышеописанным алгоритмам, существенно превосходит по отношению сигнал/шум “эмпирический” спектр, приведенный в работе [8], что связано с использованием данных HUT. Обращает на себя внимание хорошее совпадение полученного композитного спектра с син-

тетическим спектром PEGASE для эллиптической галактики с возрастом 12 Гигалет.

Построенные ультрафиолетовые участки композитных спектров имеют гораздо большие отношения сигнал/шум, чем спектры в работе [8].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приводится описание библиотеки опорных спектров галактик, предназначенной для проведения классификации объектов и определения красных смещений по результатам многоцветной фотометрии, а также описание алгоритмов построения композитных спектров.

Библиотека представляет собой компиляцию данных из нескольких работ по данной тематике и набор композитных спектров галактик, построенных на основе публично доступных данных с помощью специально разработанных алгоритмов.

Отличительной особенностью предложенных алгоритмов построения композитных спектров является достижение высокого отношения сигнал/шум при использовании различных по качеству входных данных и спектров с отсутствием информации в некоторых диапазонах длин волн. В связи со значительным увеличением количества используемых входных данных достигается существенное улучшение качества результирующих спектров по сравнению с приводимыми в работе [8]. Подготовка библиотеки опорных спектров представляет собой один из этапов создания законченной методики фотометрической классификации объектов и определения их красных смещений, описанной в работах [18] и [19].

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФ-ФИ 02-02-17433-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. A. Baum, in *Proceedings from IAU Symposium no. 15, New York, USA* (Dordrecht, 1963), p. 390.
2. N. Benitez, *Astrophys. J.* **536**, 571 (2000).
3. A. J. Connoly, I. Csabai, A. S. Szalay, et al., *Astronom. J.* **110**, 2655 (1995).
4. A. J. Connoly, A. S. Szalay, M. Dickinson, et al., *Astrophys. J.* **486**, 11 (1997).
5. B. Mobaster, M. Rowan-Robinson, A. Georgakakis, and N. Eaton, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **282**, L7 (1996).
6. S. D. J. Gwyn and F. D. Hartwick, *Astrophys. J.* **468**, L77 (1996).
7. G. D. Coleman, C.-C. Wu and D. W. Weedman, *ApJS* **43**, 393 (1980).

8. A. L. Kinney, D. Calzetti, R. C. Bohlin, et al., *Astrophys. J.* **467**, 38 (1996).
9. F. Fitzpatrick, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **111**, 63 (1999).
10. D. Schlegel, D. Finkbeiner, and M. Davis, *Astrophys. J.* **500**, 525 (1998).
11. HyperLeda database <http://www-obs.univ-lyon1.fr/hypercat/>
12. M.-P. Véron-Cetty and P. Véron, *Astronom. and Astrophys.* **374**, 92 (2001).
13. <http://www.itvis.com/idl/>
14. H. R. Schmitt, A. L. Kinney, D. Calzetti, and T. Storchi Bergmann, *Astronom. J.* **114**, 592 (1997).
15. В. Л. Афанасьев, А. В. Моисеев, *Пис'ма Astronom. Zh.* **31**, 214 (2005).
16. J. Gorgas, N. Cardiel, S. Pedraz, J. J. Gonzalez, *Astronom. and Astrophys.* **139**, 29 (1999).
17. M. Fioc and B. Rocca-Volmerange, *Astronom. and Astrophys.* **326**, 950 (1997).
18. S. N. Dodonov, I. V. Chilingaryan, *Astrophys. Bull.*, 2008 (in press).
19. И. В. Чилингарян <http://www.astronet.ru/db/msg/1191370>, 2003

LIBRARY OF REFERENCE SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTIONS FOR GALAXIES FOR THE CLASSIFICATION AND DETERMINATION OF PHOTOMETRIC REDSHIFTS OF OBJECTS

S. N. Dodonov, I. V. Chilingaryan

We describe a library of reference spectra of galaxies developed using published data and public-domain data of IUE (International Ultraviolet Explorer) and HUT (Hopkins Ultraviolet Telescope) ultraviolet missions. We describe the procedures that we use to create composite spectra of objects and report some of the parameters of the resulting spectra.