

УДК 524.386

Спектрофотометрические каталоги и базы данных

В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” КНУ им. Т. Шевченко, Научный,
АР Крым, Украина, 98409
bella@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 25 января 2014 г.

Аннотация. Рассмотрены результаты абсолютных спектрофотометрических исследований. Описано применение результатов абсолютной спектрофотометрии для целей популяционного синтеза. Отмечены результаты наблюдений для разных звезд, приводится список некоторых каталогов, в том числе каталогов средних распределений энергии для звезд разных температур и светимостей, каталогов спектрофотометрических стандартов, внегалактических источников и теоретически рассчитанных спектров. Даны некоторые полезные ссылки и веб-адреса популярных сайтов.

SPECTROPHOTOMETRIC CATALOGS AND DATABASES, by V.I. Burnashev and B.A. Burnasheva. The various spectrophotometric catalogs are considered. The application of results of the absolute spectrophotometry for the evolutionary population synthesis is briefly described. A list of various catalogues, including the mean energy distribution data, spectrophotometric standards, extragalactic sources and theoretically calculated spectra is presented. Some useful references and web-sites are presented too.

Ключевые слова: спектрофотометрия

1 Введение

В обзоре делается попытка систематизации результатов многочисленных спектрофотометрических исследований, появившихся в последние годы. Кратко освещается бурно развивающийся в последние десятилетия метод эволюционного популяционного синтеза и даны некоторые полезные ссылки и веб-адреса.

Колоссальный объем астрофизической информации в последние десятилетия получен с помощью приборов, установленных на спутниках и космических кораблях. Все это ставило новые задачи, в том числе и в такой области, как абсолютная спектрофотометрия звезд. Так, например, ввод в действие больших телескопов потребовал расширения сети стандартов как в сторону увеличения регистрируемого спектрального диапазона, так и в сторону все более слабых звезд. Кроме того, освоение новых спектральных диапазонов с помощью космических аппаратов потребовало создания стандартов, пригодных для калибровок в области вакуумного ультрафиолета и в далекой инфракрасной области.

Не касаясь впечатляющих успехов исследований в области высоких энергий и радиоастрономии, в данной статье мы будем иметь дело только со спектрофотометрическими данными, относящимися

к довольно широкому диапазону от дальнего ультрафиолета до инфракрасной области. Останутся за рамками обзора и результаты широкополосных фотометрических исследований, в том числе и каталоги, полученные с помощью внеатмосферных инструментов. Специально отметим, что в статье будут рассматриваться только спектрофотометрические каталоги, содержащие детальные кривые распределения энергии. Некоторые результаты многочисленных исследований в избранных длинах волн будут упомянуты лишь в особых случаях.

Одним из широко применяемых в последнее время приложений абсолютных спектрофотометрических исследований является популяционный синтез, который кратко описан во втором разделе обзора. После него, в третьем разделе, изложение построено в следующем порядке:

1. Список некоторых каталогов. Особо отмечены каталоги, созданные советскими исследователями.
2. Сведения о каталогах, содержащих средние кривые распределения энергии в спектрах звезд разных температур и светимостей.
3. Спектрофотометрические стандарты.
4. Наблюдения внегалактических источников.
5. Теоретически рассчитанные спектры.
6. Информационные системы и базы данных.

Заканчивается обзор кратким подведением итогов и возможным направлением дальнейших исследований.

2 Популяционный синтез в астрофизике

В последнее время абсолютные спектрофотометрические исследования приобретают все больший интерес для исследователей, работающих в разных областях астрофизики.

Анализ данных о распределении энергии в спектрах звезд позволяет получить информацию о температурах, ускорении силы тяжести на их поверхности, источниках непрерывного поглощения, химическом составе, межзвездном поглощении и т. п. Детальные кривые распределения энергии в спектрах звезд различных температур и светимостей используются, в частности, для выбора спектральных районов для многоцветной фотометрии, оценки различных параметров фотометрических систем и сопоставления их свойств, вычисления коэффициентов гетерохромной экстинкции и т. д.

На основании абсолютных спектрофотометрических данных для двойных звезд можно определить поток излучения в эмиссионных линиях, оценить вклад излучения околозвездной оболочки в континуум и уточнить спектральные классы и светимость компонентов. Применяя аналогичным образом спектрофотометрический метод исследования к интегральному излучению скоплений и галактик, которые невозможно разделить на отдельные звезды, можно было бы получить дополнительную информацию об их звездном составе и сделать некоторые общие выводы об их эволюционном статусе.

Догадка о том, что этот метод можно применять к фотометрическим данным, возникла еще в конце XIX века. Шейнер (1899) предположил, что спиральные туманности представляют собой скопления звезд. Однако только Уишл (1935) впервые сделал такой синтез на основании измеренных фотографических и фотовизуальных величин для 35 галактик в скоплении Девы. После открытия Бааде (1944) двух типов звездных населений Галактики, естественным следствием стала мысль о том, что и внешние галактики представляют собой смесь групп звезд разного возраста, причем в спиральных галактиках преимущественно население 1-го типа, а в эллиптических – 2-го.

Проблема эволюции Галактики включает в себя вопросы возникновения и развития Галактики, ее динамической эволюции, звездообразования, химической эволюции и происхождения химических элементов (Марочник и Сучков, 1984; Тинсли, 1968).

В последние годы в астрофизике получил широкое распространение так называемый **популяционный синтез** – метод прямого моделирования многочисленных популяций слабозаимодействующих объектов. Особенно успешно он был применен для исследования интегральных спектров шаровых скоплений и эллиптических галактик.

Для вычисления интегрального спектра необходимо иметь библиотеку параметров звезд и их популяций (Уорти, 1994; Фриц-Альвенслебен, 2000; Марастон, 2003; Бразул и Шарло, 2003; Лейтерер, 2005; Попов и Прохоров, 2007).

В **эмпирическом популяционном синтезе** спектр галактики разлагается на известные спектры звездных популяций и находит лучшую линейную комбинацию звездных спектров, описывающую интегральный спектр галактики или скопления.

Метод проб и ошибок сложения спектров звезд разных классов был применен в работе Спинрада и Тейлора (1971). Впоследствии Фабер (1972) применил более рафинированный способ такого сложения. Этот подход достигает хорошего представления, но ограничен в проверке единственности своего решения: к примеру, трудно разделять поздние карлики от звезд, уже находящихся на ветви гигантов, т. к. возраст и содержание металлов изменяются подобным образом почти неразличимо. Таким образом, старое, бедное металлами население напоминает молодое, но богатое металлами.

Другой подход к решению проблемы был развит Беатрис Тинсли в конце 60-х годов и широко применяется в настоящее время. В этом методе, **эволюционном популяционном синтезе**, эволюция исследуемых объектов прослеживается от их рождения до какого-то заданного момента времени.

В результате гравитационных конденсаций в Галактике происходит превращение межзвездного газа в звезды, которые имеют некое распределение по массам – начальную функцию масс (НФМ; $IMF = Initial\ Mass\ Function$). Более массивные звезды быстро эволюционируют и в конце эволюции сбрасывают часть своей массы в межзвездное пространство во время взрывов сверхновых. Сброшенная масса, обогащенная синтезированными в процессе эволюции тяжелыми элементами, входит в состав вновь рождающихся звезд следующего поколения, среди которых звезды малой массы (меньше одной солнечной), время жизни которых сравнимо со временем жизни галактики, уже не вносят своего вклада в обогащение тяжелыми элементами следующего за ними звездного поколения. Из интенсивности линий поглощения в спектрах звезд с помощью соответствующей модели атмосферы можно оценить ее химический состав, то есть относительное обилие химических элементов. Таким образом, долгоживущие звезды-карлики дают нам представление об изменении химического состава Галактики со временем, то есть картину ее химической эволюции.

Эти рассуждения в полной мере относятся и к другим галактикам, в том числе и к тем, которые невозможно разложить на звезды и для которых можно получить только их интегральные характеристики: интегральные спектры, показатели цвета и т. д. Поэтому для того, чтобы из этого интегрального излучения получить полезную информацию, требуется построение некоторой адекватной модели.

Построением моделей звездного населения галактик начали заниматься еще в 60-х годах: Кремпин и Хойл (1961) показали, что интегральные показатели цвета скоплений могут для них применяться как индикаторы возраста, а Тинсли (1968) применила основные элементы популяционного синтеза к вычислению некоторых наблюдательных величин для галактик. В последующей серии статей Беатрис Тинсли развила метод для вычисления спектрофотометрических свойств этих моделей и сравнения их с наблюдениями (Тинсли, 1972, 1973; Тинсли и Ганн, 1976; Ганн и др., 1981).

Простейшие модели простой звездной эволюции описывают непрерывное рождение звезд разной массы с одинаковым химическим составом и возрастом. Для построения модели требуются эволюционные треки и модели звездных атмосфер. Для калибровки моделей применяют наблюдаемые для скоплений диаграммы “спектр-светимость” или “цвет-светимость”.

В этом методе исследования необходимо задать:

- распределение числа звезд по массе – начальную функцию масс (НФМ),
- историю звездообразования ($SFH = Star\ Formation\ History$), включающую скорость звездообразования ($SFR = Star\ Formation\ Ratio$),
- модели химического состава, то есть начальный химический состав и темп химического обогащения среды,
- изохроны – набор параметров для звездных популяций одного возраста.

Другими словами, необходимо задать фотометрическую эволюцию популяции.

Начальная функция масс $\xi(M)$ определяется как:

$$dN = \xi(M) \cdot d(\log_{10} M) \cdot \frac{dt}{T_o}, \quad (1)$$

где dN – число звезд, создаваемое в интервале масс dM за время dt в кубическом парсеке. T_o – возраст данной популяции.

НФМ в виде простой степенной функции была предложена Солпитером (1955):

$$\xi(M) \approx 0.03 \cdot \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{-1.35}, \quad (2)$$

Впоследствии вид НФМ неоднократно пересматривался разными авторами (Миллер и Скало, 1979; Кроупа, 2001). В основном уточнения касались вида функции на краях диапазона 0.1–100 масс Солнца, то есть для наиболее массивных и маломассивных звезд. Болдри и Глэйзбрук (2003) рассмотрели различные виды представления НФМ, появившиеся в литературе, и после обстоятельного рассмотрения сделали вывод о том, что, по-видимому, солпитеровская функция является достаточно хорошим приближением в интервале масс от 0.5 до 120 масс Солнца.

Программа, вернее, комплекс программ, предназначенный для расчета модели звездной популяции на основе пересмотренных йельских изохрон описаны Уорти (1994). Набор этих изохрон содержится, в частности, в Центре звездных данных: <http://cdsarc.u-strasbg.fr/cats/VI.htm> (каталоги VI-40, VI-55, а также см. каталоги VI-65, VI-96, VI-113, VI-118).

Описано конструирование моделей промежуточной и старой популяций. Входные параметры: металличность $2 \leq [Fe/H] \leq 0.5$; сальпетеровская форма НФМ; популяция испытала единственную вспышку звездообразования в интервале возраста системы от 1.5 до 17 миллиардов лет.

В результате счета для модели данной популяции получают распределение энергии в спектре, некоторые широкополосные показатели цвета, оценку флуктуаций поверхностной яркости, а также более двадцати узкополосных показателей цвета. При принятой зависимости $\Delta age/\Delta Z \approx 1.5$ некоторые узкополосные показатели более чувствительны к возрасту, другие – к содержанию. Кроме того, отчетливо выявляется так называемый эффект вырождения: изменение начального содержания гелия почти неотличимо от изменения содержания металлов, хотя изменение некоторых элементов (к примеру, Mg/Fe) достоверно отмечается в спектре старых популяций. Поток в I -полосе почти не зависит от возраста и малочувствителен к металличности, так что эта фотометрическая полоса может быть рекомендована для оценки величины M/L для галактик. Оценки возраста на основе показателей цвета моделей показывают существенный разброс: для солнечной металличности и возраста 13 *Gyr* погрешность оценки составляет ± 7 *Gyr*.

Последние версии дополнены набором падуанских изохрон (*Padova isochrones*). Кроме того, сделано возможным также вычисление сложной популяции с несколькими событиями звездообразования.

Выходные величины: распределение энергии в интегральном спектре, а также показатели цвета в разных фотометрических системах, в частности, как в широкополосных – системах Джонсона-Казинса или “слоановской системе”, так и в узкополосных – ликской системе или системе показателей, относящихся к характерным спектральным особенностям – инфракрасному триплету Ca , показателям C_2 , H_2O , CO и т. д.

Программа находится на авторском сайте: <http://astro.wsu.edu/worthey/dial/dialamodel.html>.

Наиболее широкоизвестными до настоящего времени являются библиотеки эволюционных треков и изохрон итальянских (*Padova group*) и швейцарских (*Geneva group*) исследователей из Падуи и Женевы (см., например, обзор Лейтерера и др., 1996 и ссылки в нем). Между этими библиотеками существуют различия, вызванные разными начальными параметрами и принятыми приближениями в теоретических расчетах и допущениями для некоторых наблюдательных параметров, недостаточно точно известных до настоящего времени.

Для падуанских моделей характерны следующие особенности:

- 1) применены последние модели звездной непрозрачности,
- 2) использованы новые сведения о сечениях ядерных реакций и нейтринных потерях,
- 3) приняты в расчет конвективные выбросы,
- 4) модели с сохранением массы рассчитываются только для звезд малых и промежуточных масс. Для звезд с массой $M \geq 12M_{\odot}$ включен эффект потери массы со звездным ветром.

Для зависимости обогащения $dY/dZ \approx 2.5$ взяты следующие пределы для расчетов: в падуанской группе $Z = 0.0001$ до 0.1 , в женеvской $Z = 0.001$ до 0.04 . Пределы масс: $M = 0.6-120 M_{\odot}$ – для падуанской группы, $M = 0.8-120 M_{\odot}$ – для женеvской.

В расчеты женеvской группы также включена эволюция до главной последовательности (с учетом аккреции), расчет моделей звезд горизонтальной ветви ($HB = horizontal\ branch\ stars$) и после нее ($post-HB\ stars$), а также звезд асимптотической ветви гигантов ($AGB-stars = asymptotic\ giant\ branch\ stars$). Кроме того, для звезд большой массы приняты некоторые дополнительные уточнения (возрастание со временем темпа потери массы, изменение Z со временем и т. д.).

Расчетом звездных моделей и эволюционных треков в последнее время занимаются многие исследователи, в том числе и в Италии. К примеру, коллективом в Пизе (*Pisa group*) проведены расчеты для звезд в широких пределах звездных масс, от $0.5M_{\odot}$ до $10M_{\odot}$ (Петринферни и др., 2004, 2006). Принятое содержание элементов $[Fe/H] =$ от -2.27 до $+0.40$. Начальное содержание гелия $Y = 0.245$ для бедных металлами звезд, до $Y = 0.303$ для более обогащенных, при принятой зависимости $dY/dZ \approx 1.4$. В расчетах предусмотрен учет конвективных выбросов на границе конвективной зоны. Полный ряд моделей перекрывает широкие пределы возраста, от $\approx 30 Myr$ до $15 Gyr$. Для звезд балджа и гало модели и изохроны рассчитаны с учетом обогащения α -элементами и расширенными пределами изменения входных параметров: $-2.6 \leq [Fe/H] \leq 0.05$ и $T_{eff} \leq 6500 K$.

Для расчетов методом эволюционного синтеза часто использовались эмпирические данные о распределении энергии в спектрах звезд, например, кривые Пиклза (1985, 1998). Недостаток таких данных в том, что для многих типов звезд они отсутствуют или недостаточны из-за наблюдательных ограничений. В этом смысле теоретические расчеты выходящего потока для современных моделей имеют несомненное преимущество, поскольку позволяют рассчитать спектры с высоким спектральным разрешением при различных предположениях о химсоставе, светимости и температуре.

Имеющиеся в настоящее время модели атмосфер вполне удовлетворительно описывают выходящий поток в широком спектральном диапазоне для весьма широкого набора входных параметров: температуры и ускорения силы тяжести на поверхности (Лежен и др., 1997, 1998).

В последние годы метод популяционного синтеза стал широко применяться, в частности, для исследования двойных систем. Этой проблеме посвящен обзор Попова и Прохорова (2007), в котором приводятся ссылки на примененные эволюционные сценарии и результаты последних исследований разных типов двойных: белых карликов, “голубых бродяг”, нейтронных звезд, черных дыр и т. д.

Расчеты выполняются в два этапа.

1. Построение модельной популяции объектов.
2. Расчет интересующих величин (количество источников с определенными параметрами, параметры объектов, коэффициенты корреляции между ними или статистические моменты этих параметров, их функции распределения и т. д.) и сравнение их с наблюдениями.

Одна из последних моделей эволюционного синтеза GALEV (*GALaxy EVolution*) описывает эволюцию звездных скоплений и галактик на временном интервале $\approx 13 Gyr$ (Котулла и др., 2009).

База данных, необходимых для эволюционного моделирования, подробно описана в обширной статье Лейтерера и др. (1996). В электронной форме эти данные доступны на распространяемом лазерном диске (AAS CD-ROM Series, Vol. 7). Кроме того, возможно получить некоторые из них по индивидуальному запросу.

3 Каталоги и базы данных

3.1 Спектрофотометрические каталоги

Большая часть каталогов, содержащих детальные кривые распределения энергии в спектрах звезд, находится в Страсбургском центре астрономических данных (*CDS – Centre de Données astronomiques de Strasbourg*).

Доступ к каталогам: “Catalog of catalogues. III. Spectroscopic data” осуществляется по электронному адресу: <http://cdsarc.u-strasbg.fr/cats/III.htm>.

Для перечисленных ниже каталогов в заголовках приводятся их обозначения, принятые в Центре (если, конечно, они там имеются).

Пулковский спектрофотометрический каталог (Pulkovo Catalog) (III-201) (Алексеева и др., 1996, 1997).

В каталоге собраны данные, полученные с помощью сканирующих спектрофотометров сотрудниками Чилийской астрофизической миссии в 1971–1973 гг., а также результаты абсолютных спектрофотометрических исследований различных звезд, проведенные в 70–80-х годах на Кавказе.

Каталог состоит из трех частей. Первая часть включает спектроэнергетические кривые для 602 звезд в интервале $\lambda\lambda$ 320–1080 нм, во второй содержится 285 кривых в интервале $\lambda\lambda$ 500–1080 нм. Третья часть включает 278 кривых в интервале $\lambda\lambda$ 320–1080 нм. Во всех трех частях полученные значения внеатмосферной монохроматической освещенности $E(\lambda)$ приводятся через интервал 2.5 нм. Приводимые значения $E(\lambda)$ выражены в $\text{erg cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-1}$, то есть отнесены к интервалу длин волн 1 см.

Спектральное разрешение составляет 5 нм (в интервале $\lambda\lambda$ 320–735 нм) или 10 нм ($\lambda\lambda$ 500–1080 нм). Абсолютная калибровка основана на распределении энергии в спектре первичного стандарта αLyr (Хейес, 1985).

Результаты наблюдений некоторых переменных звезд, выполненные с той же аппаратурой с применением той же методики, опубликованы Рубан и др. (2006) в небольшом дополнительном каталоге:

Пулковские наблюдения переменных звезд (J/PAZh/32/672), где приводятся результаты абсолютной спектрофотометрии 77 переменных звезд, выполненной в Чили, Армении и Боливии в 1971–1991 гг. Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 320–1080 нм. Приводимые значения $E(\lambda)$, выраженные в $\text{Wm}^{-2}\text{m}^{-1}$, даны с шагом 2.5 нм.

Алма-Атинский спектрофотометрический каталог (III-202).

В каталоге собраны результаты многолетних наблюдений, выполненных с помощью сканирующих спектрофотометров типа Сейя-Намиока сотрудниками Астрофизического института Казахской ССР в 1968–1986 гг. (Харитонов и др., 1988). Каталог включает спектроэнергетические кривые для 1147 звезд в интервале $\lambda\lambda$ 3225–7575 Å, выраженные в $10^{-5}\text{erg cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ с шагом 50 Å и с таким же спектральным разрешением.

Для абсолютной калибровки применен тот же самый первичный стандарт αLyr (Хейес, 1985).

Некоторые наблюдения переменных звезд, выполненные Терещенко (1999), опубликованы в небольшом каталоге:

Спектрофотометрия S- и N-звезд (J/AZh/76/604).

Эти результаты получены также в Астрофизическом институте Казахской ССР, с той же самой аппаратурой, и входят в новое издание общего каталога (Харитонов и др., 2011).

Спектрофотометрический каталог ГАИШ (III-208) (Глушнева и др., 1982).

В каталоге собраны данные, полученные с помощью сканирующих спектрофотометров типа Сейя-Намиока сотрудниками Государственного астрономического института им. Штернберга в 1970–1984 гг. Каталог включает спектроэнергетические кривые для 866 звезд в интервале длин волн $\lambda\lambda$ 3225–7625 Å, выраженные в $10^{-6}\text{erg cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-1}$ с шагом 50 Å. Спектральное разрешение 50 Å. Абсолютная калибровка основана на распределении энергии в спектре первичного стандарта αLyr (Хейес, 1985).

Вторичные спектрофотометрические стандарты (J/A+AS/92/1).

Наблюдения вторичных спектрофотометрических стандартов, выполненные в ГАИШ и АФИ (Глушнева и др., 1992).

Каталог состоит из двух частей. Первая часть включает спектроэнергетические кривые для 238 звезд в интервале $\lambda\lambda$ 3200–7600 Å, выраженные в $erg\ cm^{-2}s^{-1}cm^{-1}$ с шагом 50 Å, вторая содержит 99 кривых в интервале $\lambda\lambda$ 5875–10875 Å, выраженных в $erg\ cm^{-2}s^{-1}cm^{-1}$ с шагом 100 Å.

Спектральное разрешение 50 Å (в интервале $\lambda\lambda$ 3200–7350 Å) или 100 Å ($\lambda\lambda$ 5000–10800 Å).

Абсолютная калибровка основана на распределении энергии в спектре первичного стандарта αLyr (Хейес, 1985).

Примыкающий к нему каталог стандартов промежуточной яркости, полученный с помощью той же методики и с той же аппаратурой:

Спектрофотометрические стандарты 7–8^m (III-209) (Бирюков и др., 1998; Борисов и др., 1998).

Каталог включает спектроэнергетические кривые, выраженные в $erg\ cm^{-2}s^{-1}cm^{-1}$ с шагом 50 Å для 82 звезд спектральных классов А0–G5, которые могут быть применены в качестве зональных спектрофотометрических стандартов в интервале $\lambda\lambda$ 3425–7525 Å.

Каталог Аниты Кокран (1980).

Каталог ярких звезд, включающий данные для 98 звезд ярче $V = 8.^m7$ (в основном, $V = 2.^m - 6.^m$). Наблюдения выполнены на спектрофотометре с линейкой фотодиодов.

Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 4600–10200 Å. Распределение энергии в спектрах выражено как $erg\ cm^{-2}s^{-1}Hz^{-1}$ с шагом 20 Å.

Нуль-пункт шкалы соответствует $3.50 \times 10^{-20} erg\ cm^{-2}s^{-1}Hz^{-1}$.

Одесский спектрофотометрический каталог звезд (1) (Комаров и др., 1995).

Распределение энергии в спектрах 555 звезд, полученное осреднением данных двух десятков каталогов. Результаты получены в ГАИШ, ГАО (Пулково), Астрофизическом институте Казахской ССР, в Симферопольском университете, Крымской астрофизической обсерватории, а также в Одесской астрономической обсерватории в течение 25 лет. Каталог включает яркие звезды различных спектральных классов. Оценена средняя точность приводимых результатов в интервалах 320–450 нм, 450–550 нм, 550–750 нм, 750–900 нм. Приведены средние значения монохроматических освещенностей, выраженные как wt/m^2 , отнесенные к интервалу длин волн $\Delta\lambda = 1cm$.

Новый Одесский спектрофотометрический каталог звезд (2) (Комаров и др., 1998).

В этом каталоге опубликованы результаты оригинальных наблюдений, проведенных сотрудниками Одесской астрономической обсерватории в 1973–1988 гг. на станции Терскол, расположенной на Северном Кавказе на высоте 3100 м.

Каталог включает спектроэнергетические кривые для 360 звезд в интервале 330–725 нм. Наблюдения выполнены по методике, примененной при построении московского и алма-атинского каталогов, то есть с применением сетки вторичных стандартов. Абсолютизация выполнена с помощью первичного стандарта αLyr . Проведено сравнение с другими каталогами. Расхождения составляют 2–3 % (до 5 %) в визуальной области и до 5 % на краях исследуемого диапазона.

Звездный спектрофотометрический каталог $3130 \text{ \AA} \leq \lambda \leq 10800 \text{ \AA}$ (III-88) (Ганн и Страйкер, 1983).

Часто применяемый в популяционном синтезе каталог, содержащий 175 звезд разных спектральных классов различных светимостей. Приводимые данные каталога выражены в $10^{-20} erg \cdot s^{-1}cm^{-2}Hz^{-1} = kJy$ и исправлены за поглощение в земной атмосфере. Учтено межзвездное поглощение. Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 3000–12000 Å. Спектральное разрешение около 20 Å в синей области и 40 Å – в красной. Абсолютная калибровка выполнена с помощью вторичных стандартов Оука и Ганна (1983). Первичный стандарт αLyr (Оук и Шилд, 1970).

Библиотека звездных спектров (III-92) (Джекоб и др., 1984).

Представлены спектры 161 звезды различных температур и светимостей ($V = 8 - 10.^m$) в интервале $\lambda\lambda$ 3510–7427 Å, разрешение около 4.5 Å.

Наблюдения выполнены с помощью двухлучевого спектрометра, установленного на 90-см телескопе обсерватории Китт-Пик. Для абсолютной калибровки создана собственная сетка вторичных

стандартов. Первичный стандарт – α Lyr, распределение энергии в спектре которой взято по данным Хейес и Латам (1975).

Спектрофотометрия ярких F-, G-, K-, M-звезд. Южные и экваториальные звезды (III-124) (Килинг, 1987).

Распределение энергии в спектрах 60 ярких южных и экваториальных звезд. Спектральный интервал 320–860 нм, спектральное разрешение – около 1 нм, шаг – 1 нм. Типичная средняя ошибка приводимых данных $\pm 0.^m02$, достигая до $\pm 0.^m05$ в синей области спектра. Для абсолютной калибровки принята средняя стандартная система из калибровок Хейеса (1970), Тьюга (1980a, 1980b) и Тейлора (1984).

Спектрофотометрия K-M-звезд галактического диска (J/MNRAS/286/500) (Малото и др., 1997).

Спектрофотометрия 47-ми южных K-M-звезд с целью точной спектральной классификации. Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 4800–7700 Å. Разрешение 10 Å. Наблюдения выполнены на 60-см телескопе обсерватории Ла-Силла (Чили) с помощью многоканального приемника типа “Диджикон”. Для калибровки применены абсолютные стандарты Гутиеррез-Морено и др. (1988) в системе абсолютной калибровки Хейеса и Латама (1975).

Спектры поздних звезд от $\lambda\lambda$ 4800 до 9000 Å (J/A+AS/117/93) (Серот-Рус и др., 1996).

Спектры 21 звезды разных спектральных типов и классов светимости, почти половина из которых “суперметаллические звезды”, в интервале $\lambda\lambda$ 4800 до 8920 Å. Наблюдения сделаны на 1.52-см телескопе в обсерватории Верхнего Прованса (Франция) и на Канадско-Французско-Гавайском телескопе в 1990–1994 гг. Спектральное разрешение $\lambda\lambda$ 1.25–8 Å. Спектрофотометрический стандарт – α Lyr, калиброванная Тьюгом и др. (1977). В качестве вспомогательных стандартов применены некоторые звезды Глушневой и др. (1992), Стоуна (1977), Оука и Ганна (1983). Спектры приведены в виде fits-файлов. (О выборе звезд и деталях наблюдений и обработки см. Киркпатрик и др., 1991.)

Атлас спектров низкого разрешения для нормальных звезд в ближней инфракрасной области (III-181) (Торрес-Доджен и Уивер, 1993).

Набор спектров 60-ти ярких звезд ($2.^m5$ – $9.^m5$) разных температур (O-M) и светимостей (V, III, Ib). Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 5750–8950 Å, разрешение – 15.5 Å. Спектры получены на обсерватории Чьюс-Ридж (высота около 1.5 км) с помощью спектрографа, снабженного линейкой фотодиодов в качестве приемника излучения. В качестве стандартов применены 8 ярких звезд из каталога Брегера (1976), данные которого редуцированы к системам абсолютной калибровки Хейеса-Латама (1975), вместе с калибровкой Тьюга и др. (1977). Средняя ошибка приводимых значений – около 10 % (или более). Спектроэнергетические кривые, представленные с шагом около 6 Å, приводятся в логарифмах монохроматической освещенности, выраженной в $erg\ cm^{-2}s^{-1}\ \text{Å}^{-1}$.

Атлас южных МК-стандартов $\lambda\lambda$ 5800 до 10200 Å (III-179) (Данкс и Деннефелд, 1994).

Аналогичная спектральная аппаратура применена для изучения распределения энергии в спектрах 126-ти достаточно ярких (1^m – 9^m) южных стандартных O-M-звезд разных классов светимости в интервале $\lambda\lambda$ 5800–10200 Å с разрешением около 4.3 Å.

Библиотека звездных спектров в области от 1.428 μ до 2.5 μ (III-196) (Ланкон и Рокка-Вольмеранж, 1992).

Спектры получены на фурье-спектрометре, установленном на 3.6-метровом телескопе (Канадо-Франко-Гавайская обсерватория) для 84 звезд разных спектральных классов и светимостей. Обработка спектров выполнена с применением пакета MIDAS (*Munich Image and Data Analysis System*). Относительное распределение энергии оценено с помощью наблюдаемых спектров звезд-карликов (по-видимому, содержащихся в пакете). Инфракрасная фотометрия Курнифа (1983) применена для оценки относительного распределения энергии, нормализованного в длине волны $\lambda = 2.15\ \mu m$.

Самолетная звездная спектрофотометрия от 1.2 μ до 5.5 μ : абсолютная калибровка и спектры звезд, более поздних, чем M3 (Стрекер и др., 1979).

Наблюдения 13 ярких звезд в области 1.22–5.70 мкм проведены на самолетных обсерваториях КАО (*Kuiper Airborne Observatory*) и LJO (*Lear Jet Observatory*) с помощью охлаждаемого перестраиваемого интерференционного фильтра (*CCVF = cooled circular variable filter*). Для абсолютной калибровки применен звездный стандарт α Lyr, для которой принята модель атмосферы Шилда и

др. (1971). Вспомогательный стандарт – α CMa. Точность абсолютной калибровки оценена в 10 %. Внутренняя сходимость приводимого результата составляет ± 3 %. Значения монохроматической освещенности $E(\lambda)$ затабулированы в виде $10^{-15} \text{W cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ с шагом 0.02 мкм (в области 1.22–2.72 мкм) и 0.04 мкм – в области 2.74–5.70 мкм.

Библиотека спектров ярких холодных звезд в области от 0.5 μ до 2.5 μ (J/A+AS/146/217) (Ланкон и Вуд, 2000).

Каталог содержит 182 спектра 80-ти звезд в интервале $\lambda\lambda$ 5100–9950 Å, 145 спектров в интервале $\lambda\lambda$ 9700–24900 Å, 112 спектров в интервале $\lambda\lambda$ 5100–24900 Å с шагом 5 Å. Наблюдения в инфракрасной области ($\lambda\lambda$ 9700–24900 Å) выполнены на 2.3-м телескопе австралийской обсерватории Сайдинг-Спрингс. Спектральное разрешение $R \approx 1100$. В видимой области ($\lambda\lambda$ 5500–9800 Å) применен спектрограф на 1.88-метровом телескопе обсерватории Маунт-Стромло (США), спектральное разрешение 30–40 Å. Список наблюдавшихся звезд включает красные гиганты и сверхгиганты, углеродные и кислородные долгопериодические звезды в разных фазах их переменности, а также несколько звезд галактического балджа и Магеллановых Облаков.

Абсолютная калибровка выполнена с помощью звезд, для которых принято теоретическое распределение энергии. Средняя точность приводимого результата – порядка одной звездной величины. Точность около 10 % достигается в исключительных случаях. Столь большая погрешность вызвана плохими погодными условиями и потерями света на щечках щели спектрографа.

STELIB – библиотека звездных спектров с разрешением $R \approx 2000$ (III-232) (ЛеБорн и др., 2003).

Набор из 249 спектров звезд разных температур и светимостей в визуальной области ($\lambda\lambda$ 3200–9500 Å) с разрешением около 1 Å и с шагом 1 Å. Звезды выбирались в достаточно широком диапазоне металличности: $[Fe/H]$ = от -1.9 до $+0.47$. Наблюдения выполнены как с помощью спектрографа, установленного на 1-метровом телескопе обсерватории Ла-Пальма, так и с применением двухлучевого спектрографа на 2.3-метровом телескопе обсерватории Сайдинг-Спрингс (Австралия). Ширина щели составляла 1."5–2". Абсолютная калибровка выполнена с помощью стандартных звезд, взятых из различных каталогов.

MILES – библиотека эмпирических спектров (J/MNRAS/371/703) (Санчес-Блазкез и др., 2006).

Новая звездная библиотека, предназначенная для популяционного синтеза, состоящая из 985 звезд в широких пределах атмосферных параметров, составленная по результатам наблюдений на 2.5-метровом телескопе им. Исаака Ньютона (обсерватория Роке-де-лас-Мучачас, Ла Пальма, Испания). Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 3525–7500 Å, спектральное разрешение 2.3 Å.

Библиотека калиброванных эшелельных спектров южных звезд-карликов с разным уровнем хромосферной активности (III-232) (Синкунегги и Маас, 2004).

Эшелельные спектры 91 звезды главной последовательности поздних спектральных классов (F–M) в области $\lambda\lambda$ 3890–6690 Å с разрешением $R \approx 26400$ на 2.15-м телескопе обсерватории CASLEO (*Complejio Astronomico El Leoncio*) в Аргентинских Андах на высоте 2552 м. Абсолютная калибровка выполнена с помощью пакета IRAF, нуль-пункт определен по V -величинам наблюдавшихся звезд. Сравнение со средним распределением энергии звезд близких спектральных классов из каталога Сильва и Корнелл (1992) показало сходимость их данных до 10 %. Таким образом, высокое спектральное разрешение этого каталога, вероятно, может оказаться привлекательным при различных вычислениях, в частности, в эволюционном синтезе.

Ультрафиолетовый спектрофотометрический каталог ярких звезд (III-232) (Джамер и др., 1976).

Каталог содержит абсолютизированные спектры звезд, полученные на спутнике TD – 1 в марте-октябре 1972 г. Сканирование спектра осуществлялось перемещением монохроматических изображений звезды поперек неподвижных выходных щелей за счет орбитального движения спутника. Время интегрирования (0.148 сек) определяет инструментальный контур щели, полуширина которого оценивается ≈ 35 –40 Å. Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 1360–2540 Å. Дополнительное измерение в фотометрическом канале: λ 2740 Å, $\Delta\lambda = 310$ Å. Каталог включает 1356 кривых распределения энергии различных звезд с шагом 20 Å.

Через два года было выпущено **Дополнение к ультрафиолетовому спектрофотометрическому каталогу ярких звезд (II-86)** (Маку-Эрко и др., 1978).

Дополнение содержит спектрофотометрические сведения о 435 звездах, не вошедших в основной каталог Джамера и др. (1976).

До недавнего времени часто применялся не потерявший ценности **IUE-референтный атлас низкого разрешения для нормальных звезд (III-83)** (Хек и др., 1984).

Атлас содержит 239 спектров ранних звезд с шагом 2 \AA , полученных на спутнике IUE. Все они вошли в базу данных INES (см. далее “базы данных”).

Спектральная библиотека нового поколения (NGSL = Next Generation Spectral Library) (Колева и Васдекис, 2012; Грегг и др., 2005): <http://archive.stsci.edu/prepds/stisngsl/>.

Наблюдения сделаны с помощью спектрографа STIS (*Space Telescope Imaging Spectrograph*) на телескопе Хаббл. Библиотека предназначена, в первую очередь, для целей популяционного синтеза. Содержит 374 спектра различных звезд в области $0.2\text{--}1.0 \text{ мкм}$ с разрешением $R \approx 1000$, учтено межзвездное поглощение и оценены фундаментальные характеристики: T_{eff} , $\log g$, $[Fe/H]$. Точность абсолютной калибровки оценивается в $2\text{--}3 \%$. Большой набор объектов, хорошая точность в обширном спектральном диапазоне и высокое спектральное разрешение делают этот каталог весьма привлекательным для целей различного рода калибровок.

Последние измерения со сканером Умплера. Сканы G- и K-звезд. (J/PASP/121/827) (Тейлор, 2009).

Определенный интерес представляют измерения 24-х G- и K-гигантов с разрешением около 50 \AA , выполненные с помощью сканера Умплера, установленного на 0.9-метровом рефлекторе Ликской обсерватории в спектральном интервале $\lambda\lambda 3288\text{--}6940 \text{ \AA}$. Точки спектра расположены примерно равномерно. Абсолютная калибровка выполнена с помощью стандартов Оука (1990).

3.2 Каталоги средних спектрофотометрических кривых

Часто в разного рода расчетах требуются средние кривые распределения энергии звезд разных температур и светимостей. Существуют несколько каталогов такого рода, начиная с известного каталога Страйжиса и Свидерскене (1972), примененного для определения кривых реакции Вильнюсской фотометрической системы. Впоследствии спектральный диапазон этого каталога был расширен (Свидерскене, 1988). В настоящее время подобные эмпирические библиотеки спектров применяют в эволюционном синтезе.

Спектрофотометрический атлас стандартных звездных спектров $3600 \text{ \AA} \leq \lambda \leq 10000 \text{ \AA}$ (VII-102).

Среднее распределение энергии для 48 спектральных типов звезд различных светимостей получено по наблюдениям 200 звезд с помощью “решетчатого спектрографа” на 1.9-метровом телескопе обсерватории Маунт-Стромло в области $\lambda\lambda 3600\text{--}8500 \text{ \AA}$, а также в области $\lambda\lambda 7000\text{--}10000 \text{ \AA}$ – на 3.9-метровом англо-австралийском телескопе с ПЗС-приемником. Спектральное разрешение около 17 \AA (Пиклз, 1985).

Дальнейшее развитие атлас получил в виде более подробной **Библиотеки звездных потоков: $1150 \text{ \AA} \leq \lambda \leq 25000 \text{ \AA}$ (J/PASP/110/863).**

Библиотека содержит 131 среднюю кривую распределения энергии в области $\lambda\lambda 1150\text{--}25000 \text{ \AA}$ с разрешением $R \approx 500$ с шагом 5 \AA . Кривые построены с привлечением литературных данных, появившихся в последние годы. Рассмотрены сведения из 17 звездных каталогов, многие из которых были перечислены выше. После критического рассмотрения более ранних работ по созданию средних звездных спектров, составлены средние спектрофотометрические кривые для широкого набора температур и светимостей. Кроме того, включены звезды со слабыми линиями металлов, а также звезды, в которых линии металлов усилены (Пиклз, 1998).

Новая библиотека звездных оптических спектров (III-166) (Сильва и Корнелл, 1992).

Создана на основе наблюдений, выполненных на 2.4-метровом телескопе обсерватории Мичиган-Дартмут с помощью спектрографа с призмой в спектральной области $\lambda\lambda 4360\text{--}9250 \text{ \AA}$, а также на

2.3-метровом телескопе обсерватории Китт-Пик в 1988–1989 гг. В результате получены средние кривые распределения энергии для звезд 72-х различных спектральных классов (O–M) и светимостей (I–V) в области $\lambda\lambda$ 3510–8930 Å со средним разрешением около 11 Å.

Спектральный синтез в ультрафиолете. Библиотека средних (спектров) звездных групп (J/ArJS/82/197) (Фанелли и др., 1992).

По наблюдениям 218-ти звезд с помощью спутника *IUE* для 56 групп, включающих типы O3–M4 разных классов светимости (V–I), найдено среднее распределение энергии в интервале $\lambda\lambda$ 1230–3200 Å с разрешением около 6 Å. Приводимые величины представляют собой нормализованные в полосе V потоки: $F(\lambda)/F(V)$, где $F(\lambda)$ выражены в $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Å}^{-1}$. Поток в полосе V соответствует $F(V) = \text{dex}p[-0.4 * (V + 21.175)]$.

Спектрофотометрические работы, проводившиеся в Советском Союзе, дали возможность построить средние кривые распределения энергии. Эти каталоги обладают более низким спектральным разрешением. Тем не менее, они могут применяться в некоторых исследованиях.

Среднее распределение энергии в звездных спектрах в области 320–760 нм (III-186) (Князева и Харитонов, 1996).

Для 41 спектрального подкласса по опубликованным данным (Харитонов и др., 1988; Глушнева и др., 1982; Алексева и др., 1996) в области 320–760 нм получены средние кривые распределения энергии.

Среднее распределение энергии в спектрах звезд (Бурнашев, 1980).

Построены средние кривые распределения энергии в спектрах 40 типов звезд различных температур и светимостей в интервале от $\lambda\lambda$ 3225–7375 Å с разрешением около 75 Å. Вычислены средние показатели цвета (U–B) и (B–V), проведено сравнение с данными других авторов. Полученные кривые сравнимы по точности с данными Страйжиса и Свидерскене (1972). Поскольку для их построения взят более обширный и однородный наблюдательный материал, в некоторых случаях применение наших данных более предпочтительно.

Кроме того, оценены и приведены значения поправок для перехода от потоков в стандартной длине волны $\lambda 5550$ Å к V-величинам. Эта поправка для звезд класса *M0III* может достигать непребрежимой величины $0.^m15$.

3.3 Спектрофотометрические стандарты

Проблемы абсолютной калибровки часто решаются путем создания сети вторичных стандартов, привязанных к распределению энергии в спектре лабораторного источника или к звездному спектрофотометрическому стандарту (который также привязан к лабораторному стандартному источнику). За такой первичный звездный стандарт часто принимают Вега – яркую звезду северного полушария. Иногда вместе с ней наблюдают еще некоторые звезды (Оук и Шилд, 1970; Хейес и Латам, 1975; Тьюг и др., 1977; Хейес, 1985).

Ясно, что привязка к довольно мощному лабораторному источнику может быть осуществлена только для ярких звезд, поэтому для наблюдений на больших телескопах строят сеть вторичных и третичных спектрофотометрических стандартов, распространяя ее как в область южного полушария, так и в область все более слабых звезд и более широкого спектрального диапазона (Стоун, 1974, 1977; Стоун и Болдуин, 1983; Болдуин и Стоун, 1984; Тейлор, 1984; Гутиеррез-Морено и др., 1988; Мэсси и др., 1988; Мэсси и Гронуэлл, 1990; Оук, 1990; Хэмай и др., 1992, 1994).

Для калибровки в области вакуумного ультрафиолета применены данные, полученные ранее на спутниках *IUE* и *VOYAGER*, а также результаты исследований на *HST* с помощью разных спектрографов – *FOS* (*Faint Object Spectrograph*) и *STIS* (*Space Telescope Imaging Spectrograph*). В частности, в качестве первичных стандартов для использования в широкой области спектра $\lambda\lambda$ 1150–10200 Å предложены белые карлики ($V = 11.^m8 - 13.^m0$) (Болин, 2000; Болин и Гиллиланд, 2004), а также звезды солнечного типа (Колина и др., 1996). В качестве наилучших звездных стандартов в области 0.1–3 мкм приняты водородные белые карлики, температуры и ускорение силы тяжести на поверхности которых определены из профилей водородных линий (Финлей и др., 1997), распределение энергии вычислено по моделям Барстоу и др. (2001). Некоторые результаты сравнения

опубликованы Болином и др. (2001). Возможная погрешность в приводимых значениях оценена от 4-х процентов в далекой ультрафиолетовой области до 2-х процентов в остальном спектральном диапазоне (Болин, 2003, 2004). Результаты критического рассмотрения калибровок и оценка достигаемой точности в широком диапазоне от вакуумного ультрафиолета до инфракрасной области доложены Болином (2007) на совещании по вопросам стандартизации астрономических измерений.

Ссылки на более ранние определения можно найти, например, в статье Струнгилиса и Болина (1979).

Южные спектрофотометрические стандарты (II-179) (Хэмай и др., 1992, 1994).

Часто вторичные стандарты слишком ярки для слабых звезд. Для ослабления потока приходится применять при наблюдениях нейтральный фильтр, что вносит дополнительные ошибки в наблюдаемый результат. Поэтому для экваториальных и южных звезд, кроме вторичных стандартов, построена сеть из 19 третичных спектрофотометрических стандартов для использования на больших телескопах. В основном это белые карлики, обладающие достаточно гладким спектром.

Эти звезды достаточно слабы ($9.^m5-14^m$), чтобы с имеющейся аппаратурой быть примененными для целей абсолютной калибровки слабых источников на больших телескопах.

Для абсолютной калибровки сети третичных стандартов использованы 11 вторичных стандартов, данные о распределении энергии в спектрах которых, после их критического рассмотрения, взяты из статей Оука и Ганна (1983), Стоуна и Болдуина (1983), Болдуина и Стоуна (1984), Тейлора (1984), Мэсси и др. (1988).

Наблюдения выполнены в интервале $\lambda\lambda$ 3300–7550 Å на 1.5-метровом и 4-метровом телескопах Межамериканской обсерватории (Серро-Тололо) с помощью спектрографа, установленного в кассегреновском фокусе. Впоследствии исследуемый интервал был расширен в длинноволновую область до $\lambda = 10500$ Å. Спектральное разрешение $\lambda = 10$ Å и $\lambda = 16$ Å. Статистическая ошибка в каждой длине волны не превышает нескольких миллимагнитуд.

Данные о распределении энергии в звездах выражены в $erg \cdot s^{-1} cm^{-2} Hz^{-1}$.

Списки спектрофотометрических стандартов телескопа Хаббл (*Hubble Space Telescope*).

Списки звезд, предназначенных для фотометрической и спектрофотометрической калибровки приборов на борту внеатмосферной обсерватории Хаббл, можно найти на сайтах: <http://www.stsci.edu/hst/observatory/cdbs/calobs.html/>, <http://www.stsci.edu/hst/observatory/cdbs/calspec.html/>.

CALOBS содержит спектры некоторых звезд в ультрафиолетовой и видимой областях, полученные из разных источников: IUE, VOYAGER-2, а также статей Оука (1990) и Стоуна (1977). На CALSPEC имеются составные спектры стандартных звезд, которые можно применить при калибровке. Поисковые карты опубликованы Тарншеком и др. (1990).

Также на этих сайтах можно найти сведения об изменениях, произошедших в процессе работы. Последний (2011 г.) список включает 59 звездных спектрофотометрических стандартов. Приведены также современные данные о распределении энергии в спектре Солнца (Тиллер и др., 2003).

Списки спектрофотометрических стандартов ESO.

Звезды, предназначенные для фотометрической и спектрофотометрической калибровки приборов на телескопах Европейской южной обсерватории: <http://www.eso.org/sci/observatory/tools/standard/spectra.html/>.

Список до некоторой степени соответствует спектрофотометрическим стандартам HST и включает в качестве первичных стандартов звезды Хэмая и др. (1992, 1994), Тейлора (1984), Оука (1990). Третичные стандарты взяты из списка Стоуна (1977), Стоуна и Болдуина (1983). Добавлены также несколько стандартов – белых карликов (Болин, 1996).

Спектрофотометрический атлас стандартных звезд Ландольта (Стритцингер и др., 2005).

Выполнены наблюдения 102 звезд промежуточной яркости ($7^m \leq V \leq 13^m$) из экваториальных площадок Ландольта. Спектры получены на 1.5-метровом телескопе ESO в течение восьми ночей в двух спектральных интервалах: $\lambda\lambda$ 3100–6400 Å (разрешение 8.6 Å), $\lambda\lambda$ 5800–10600 Å (разрешение 16.4 Å).

Абсолютная калибровка выполнена с помощью вторичных стандартов Хейеса (1970), рекалиброванных Тейлором (1984). Сами спектры пока не опубликованы.

Таким образом, в настоящее время существуют списки спектрофотометрических стандартов, пригодные для целей абсолютизации спектрофотометрических измерений небесных объектов в широком диапазоне яркости для наблюдений на различных телескопах.

3.4 Наблюдения внегалактических источников

Поскольку целью популяционного анализа является моделирование спектров сложных объектов, таких как скопления и галактики, то, естественно, спектрофотометрии галактик и шаровых скоплений уделялось большое внимание наблюдателей. Чаще всего определялись относительные потоки в некоторых избранных длинах волн, соответствующих континууму и некоторым эмиссионным линиям. Примером последних определений такого рода можно считать каталог **Спектрофотометрия ближайших галактик поля: данные (J/ArJS/126/331)** (Янсен и др., 2000).

Приведены в графическом виде спектры 196 галактик, полученные на 1.5-метровом телескопе обсерватории Уиппла (Маунт Хопкинс, Аризона). Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 3350–7250 Å, разрешение около 6 Å. В каталоге приводятся результаты поверхностной *UBR*-фотометрии и оценки потоков в водородных и запрещенных линиях.

Каталогом другого рода, в качестве примера, может быть каталог **Космические миссии, предназначенные для исследования темной энергии. 1. Построение спектрофотометрических каталогов и их первые приложения (J/A+A/504/359)** (Джоувел и др., 2009).

Здесь приведен большой массив данных, собранный в процессе выполнения различных проектов. Каталог размещен на сайте: <http://lamwww.oamp.fr/cosmowiki/SpectrophotCat/>.

Спектры галактик и квазаров, в силу их малой яркости, доступны лишь для крупных телескопов. Поэтому для того, чтобы компенсировать недостаточно высокое отношение сигнала к шуму, применявшиеся спектрографы обладали невысоким разрешением. По-видимому, это одна из причин того, что сведения о непрерывном ходе спектроэнергетических кривых чаще всего в статьях приводились в графическом виде.

Набор таких графиков спектров рассеянных и шаровых скоплений, опубликованный Э. Байком в 80-х и начале 90-х годов в области $\lambda\lambda$ 3700–7000 Å, $\lambda\lambda$ 7000–9800 Å, $\lambda\lambda$ 3150–4000 Å (Байк, Элоуин, 1986; Байк и др., 1994), в виде одномерных массивов можно найти на диске AAS CD-ROM Series, Vol. 7 (Лейтерер и др., 1996).

Ниже перечислены сведения о некоторых последних определениях, доступных в сети INTERNET.

Спектрофотометрический атлас галактик (VII-141) (Кенникатт, 1992).

Приводятся в числовом виде нормализованные в длине волны λ 5550 Å спектры 55-ти галактик. Точность приводимых значений $F(\lambda)/F(5550)$ в интервале $\lambda\lambda$ 3650–7100 Å с разрешением 5–8 Å с шагом 2 Å оценена около 10 %.

Ультрафиолетовый атлас спектров квазаров и блазаров (III-157) (Кайнни и др., 1991).

На основании данных *IUE* приводится атлас спектров 68 квазаров, блазаров и сейфертовских галактик, полученных в течение декады. Показано, что вариации блеска в ультрафиолетовой области для многих этих объектов намного заметнее, чем в видимом диапазоне: примерно треть квазаров и половина блазаров изменила свой блеск более чем в два раза на протяжении нескольких лет.

Атлас ультрафиолетовых спектров галактик с формирующимися звездами (III-167) (Кайнни и др., 1993).

Комбинированные данные *IUE* применены для создания атласа спектров 143 спиральных, иррегулярных, голубых компактных сейфертовских галактик. Для контроля приводимых спектров использованы также некоторые сведения, полученные на *OAO* и *ANS*. Галактики наблюдались с большими диафрагмами: $15'' \times 10''$. Спектральное разрешение около 5 Å для $\lambda \leq 1500$ Å и 8 Å в более длинноволновой области.

FIRST – обзор ярких квазаров (J/ArJS/126/133) (Уайт и др., 2000).

На основании паломарских карт и обзора *FIRST* с разной достоверностью отождествлены активные галактики, квазары и блазары до $17.^m8$ на площади 2862 кв. грд. Каталог (*FBOS = FIRST Bright Quasar Survey*) содержит сведения о ярких квазарах (636 объектов), активных ядрах галактик (96 объектов), блазарах (68 объектов) с $z \geq 3$, а также об *III*-областях и других галактиках. В fits-формате представлены их спектры.

Спектральная библиотека галактик, скоплений и звезд (III-219) (Сантос и др., 2002).

По результатам наблюдений, выполненных в *ESO, OHP, CFHT, CASLEO* на протяжении ряда лет, собраны спектры разных объектов, которые дополнены результатами, полученными на *IUE*. Общий массив опубликованных в 20 статьях данных содержит спектры 243 галактик, 190 скоплений и 72 звезд – всего 868 спектров в разных спектральных областях. Для некоторых объектов приведены данные, несколько улучшенные по сравнению с ранее опубликованными на AAS CD-ROM Series, Vol. 7. Приводятся нормализованные потоки $F(\lambda)/F(5670)$ в виде $J \cdot s^{(-1)m} \cdot nm^{(-1)}$. Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 1200–10200 Å, спектральное разрешение от 3 Å до 23 Å.

Если наблюдения выполнены только в ультрафиолетовой области, нормализация сделана на длине волны $\lambda = 4000$ Å, если только в ИК-области – на длине волны $\lambda = 7000$ Å.

О красном смещении блазара PKS 0447-439 (J/A+A/545/A68) (Фумагалли и др., 2012).

В числовом и графическом виде приводится распределение энергии в спектре блазара *PKS 0447-439* в спектральном интервале $\lambda\lambda$ 3500–8100 Å с разрешением $\lambda/\Delta\lambda \approx 10^4$.

3.5 Теоретически рассчитанные спектры

В эволюционном популяционном синтезе при расчетах зачастую недостаточно имеющихся эмпирических спектрофотометрических данных, которые большей частью относятся к ярким, то есть близким звездам. Такие каталоги не перекрывают достаточный диапазон светимостей и металличности. Кроме того, зачастую перекрываемый спектральный диапазон не включает область спектра, попросту недоступную для наблюдений, особенно с земной поверхности. Поэтому применяются теоретически вычисленные кривые распределения энергии. Преимущества такого подхода очевидны: можно иметь достаточно подробный набор данных для звезд различных температур и светимостей с высоким спектральным разрешением в широком спектральном диапазоне. При этом необходимо принимать во внимание многие физические процессы: отклонение от ЛТР, эффект бланкетирования, сферичность, нерадиативный нагрев, конвекцию и т. д.

Такие библиотеки спектров, основанные на моделях атмосфер, часто ограничивались приближениями, принимаемыми при расчетах, из-за недостаточной мощности вычислительных средств и малого числа и низкой точности атомных и молекулярных данных.

Хотя в последнее время положение значительно улучшилось, работа далеко не закончена. Ниже приведены только некоторые из многих последних разработок, характерной особенностью которых являются учет физических эффектов, расширение спектрального диапазона, улучшенное спектральное разрешение.

Стандартная звездная библиотека для эволюционного синтеза *BaSeL library* (J/A+AS/125/229).

Наиболее часто применяемая в последнее время библиотека (Лежен и др., 1997, 1998) *BaSeL library* представляет собой сводку синтетических спектров, основанных на моделях атмосфер Флакса и др. (1994), Бесселя и др. (1989, 1991), Алларда и Хаушилда (1995) для широкого набора звездных главных параметров: $T_{eff} = 50000$ К до 3500 К, $\log g = +5.50$ до -1.02 , $[M/H] = -5.0$ до $+1.0$. Интервал длин волн от 9.1 нм до 160 мкм, со средним разрешением 1 нм в ультрафиолетовой области, 2 нм – в видимой. Приводимые данные соответственно также даны с переменным шагом – от 0.2 нм в ультрафиолете до 20 мкм в далекой инфракрасной области.

UVBLUE – Новая теоретическая библиотека ультрафиолетовых спектров высокого разрешения (Родригес-Мерино и др., 2005).

Теоретически рассчитаны спектры на основе ATLAS9-code в интервале $\lambda\lambda$ 850–4700 Å с разрешением $R = \lambda/\Delta\lambda = 50000$ для следующих параметров: $T_{eff} = 50000$ К до 3000 К, $\log g = +5$ до -1.02 с шагом $\Delta \log g$ 0.5 dex, $[M/H] = -2.0, -1.5, -1.0, -0.5, +0.5, +0.3$ до $+0.5$ dex.

Библиотека KURUCZ – спектров высокого разрешения в интервале $\lambda\lambda$ 3000–10000 Å (Мэрфи и Мескин, 2004).

Библиотека из 6410 синтетических спектров, базирующаяся на моделях атмосфер (Куруц, 1993) с 54-мя значениями T_{eff} = от 5250 К до 50000 К, 11-ю значениями $\log g$ = +5.0 до 0.0 и 19-ю значениями металличности $[M/H]$ = –5.0 до 1.0. Спектральное разрешение $\lambda/\Delta\lambda$ = 50000, спектральный интервал $\lambda\lambda$ 3000–10000 Å.

Спектры высокого разрешения в интервале $\lambda\lambda$ 8500–8750 Å для GAIA (III-238) (Манари и Кастелли, 2001).

Библиотека из 972 синтетических спектров, характеризующихся следующими параметрами: T_{eff} = 50000 К до 3500 К, $\log g$ = +4.50 до –1.0, $[Z/Z_o]$ = –2.5 до +0.5.

Эта работа получила дальнейшее развитие, была составлена **Обширная библиотека синтетических спектров в интервале $\lambda\lambda$ 2500–10500 Å** (Манари и др., 2005).

Эта библиотека также основана на SYNTHЕ-code Куруца (1993). Включены улучшения (ODF = *Opacity Distribution Functions*), в частности, поглощения молекулами TiO , H_2O , HI , H^+ Куруца (1999a, 1999b), Кастелли и Куруца (2003). Сетка состоит из 51288 модельных спектров. Спектральный интервал $\lambda\lambda$ 2500–10500 Å, спектральное разрешение соответствует нескольким популярным проектам: R = 20000, 11500 (GAIA), 8500 (RAVE), 2000 (SLOAN). Широкий набор параметров: T_{eff} = 47500 К до 3500 К, $\log g$ = +5.0 до 0.0, металличность $[M/H]$ = –2.5 до +0.5, химсостав $[\alpha/Fe]$ = 0.0; +0.4, где под α -элементами понимаются O, Ne, Mg, Si, Ca и Ti. Микротурбулентная скорость ξ = 1; 2; 4 km/s, скорость вращения $0 \leq V_{rot} \leq 500$ km/s.

Необходимую информацию можно получить на сайте: <http://gaia.esa.int/spectralib/spectralib1A/SpectraLib1a.cfm>.

Библиотека синтетических звездных спектров высокого разрешения с солнечным и обогащенным α -элементами химсоставом в интервале от 300 nm до 1.8 μm (VI-120) (Коэльо и др., 2005).

Библиотека представляет спектры F-M-звезд старого и промежуточного населения в интервале от 300 нм до 1.8 мкм с шагом 0.02 Å. Набор параметров: T_{eff} = 7000 К до 3500 К через 250 К, значения ускорения силы тяжести на поверхности $\log g$ = +5.0 до 0.0 через 0.5, металличность $[Fe/H]$ = –2.5 до +0.5, химсостав $[\alpha/Fe]$ = 0.0; +0.4.

Микротурбулентная скорость ξ = 1 km/s для $\log g \geq +3.0$, ξ = 1.8 km/s для $1.5 \leq \log g \leq +2.5$, ξ = 2.5 km/s для $\log g \leq 1.0$.

База данных POLLUX (Паласиос и др., 2010).

Спектры высокого разрешения рассчитаны с применением пакетов MARCS для звезд с $T_{eff} \leq 6000$ К, TURBOSPECTRUM – для звезд $7000 \text{ К} \leq T_{eff} \leq 15000$ К, CMFGEN для звезд $T_{eff} \geq 25000$ К для солнечной металличности. Спектральный интервал от $\lambda\lambda$ 3000–12000 Å, спектральное разрешение $R \geq 150000$. Данные в формате, предусмотренном стандартом виртуальной обсерватории (*Virtual Observatory standards*) можно найти на сайте: <http://pollux.graal.univ-montp2.fr/>.

3.6 Информационные системы, базы данных и библиотеки звездных спектров

В процессе подготовки различных больших проектов, включая космические и радиоастрономические, создавались обширные массивы различных данных, которые тщательно систематизировались и пополнялись. Создавались соответствующие программы поиска, обработки и архивирования. Таким образом возникали настоящие информационные системы. В качестве таких систем со сложной иерархией можно привести, к примеру, CDS и NASA ADS – сайты, имеющие свои точные копии (“зеркала” = *mirrors*) в других странах для обеспечения доступа пользователей к накопленной за много лет информации.

Многие каталоги, особенно созданные большими коллективами исследователей, включают в себя, кроме массы наблюдательных данных, также и некоторые полезные программы. Потому они, скорее, могут носить название баз данных, зачастую постоянно обновляющихся.

HYPERLEDA – информационная система для астрономии (<http://alcor.sao.ru/alcor/hyperleda/>, <http://alcor.sao.ru/alcor/hyperleda/intro.html>).

Система является дальнейшим развитием системы LEDA, созданной в 1983 г. для изучения физики и эволюции галактик. В настоящее время включает сведения о трех миллионах объектов, в том числе, с высокой достоверностью, около половины из них являются галактиками.

Эта система включает базы данных и программы для обработки данных в соответствии с требованиями пользователя. Имеет “зеркала” в нескольких странах.

Библиотека звездных спектров Дэвида Монтеса (<http://www.ucm.es/info/Astrof/invest/actividad/spectra.html>).

Содержит богатую информацию и множество ссылок, в том числе на фотометрические исследования и синтетические спектры.

MAST = Mikulski Archive for Space Telescope – информационная система для астрономии: <http://archive.stsci.edu/aboutmast.html/>, <http://archive.stsci.edu/index.html/>, <http://archive.stsci.edu/survey2012.html/>.

Система основана в институте телескопа Хаббл (*STSci = Space Telescope Science Institute*) в 1997 г. для того, чтобы облегчить астрономической общественности доступ к данным различных астрономических архивов в разных спектральных областях – от радиодиапазона до далекого ультрафиолета.

Названная вначале *Multimission Archive for Space Telescope*, в апреле 2012 г. переименована в *Mikulski Archive for Space Telescope* (MAST) в честь сенатора Барбары А. Миккульски. Система поддерживает различные астрономические архивы данных, в основном получаемые с помощью спутников и пополняющиеся и в настоящее время, а также результаты прошлых космических миссий. Большой массив данных и удобный доступ к ним делают эту систему очень популярной среди исследователей.

В конце 2012 г. система включала сведения о спутниках и получаемой с них информации:

- **HST = Hubble Space Telescope.** Краткий обзор конструкции приборов, установленных на телескопе им. Э. Хаббла, а также другие сведения можно найти на сайте: <http://www.stsci.edu/HSToverview.html/>.

Навесная аппаратура – спектрографы и камеры прямых снимков – неоднократно заменялась на более совершенные приборы в процессе работы во время штатных посещений экипажей “шаттлов”. Совершенствовалась методика обработки и калибровки. С точки зрения рассматриваемого вопроса, большую ценность в настоящее время представляют полученные на спектрографах космического телескопа имени Хаббла сведения о стандартных звездах.

- **GALEX (=Galaxy Evolution Explorer)** (Моррисэ и др., 2005, 2007). Спутник запущен 28 апреля 2003 г. Телескоп диаметром 50 см системы Ричи-Кретьена снабжен сменными гризмами для получения спектров в области около $\lambda 1480 \text{ \AA}$ с разрешением $R \approx 200$ и в области около $\lambda 2200 \text{ \AA}$ с разрешением $R \approx 118$.
- **SwiftUVOT.** Запущенный в октябре 2004 г. и рассчитанный на работу в течение 2-х лет спутник снабжен тремя приборами: BAT (*The Burst Alert Telescope*), XRT (*X-ray Telescope*), UVOT (*Ultraviolet/Optical Telescope*).

UVOT-телескоп диаметром 30 см снабжен ПЗС-приемником с усилителем яркости, предназначенным как для получения прямых изображений с помощью 6-ти фильтров, так и гризмой для получения спектров низкого разрешения.

- **XMM-OM (X-ray Multi-Mirror telescope Optical Monitor).** Запущен в декабре 1999 г. и был рассчитан на работу в течение 10 лет. Снабжен 30-см телескопом с ПЗС-фотометром с набором фильтров для работы вместе с X-телескопом для обеспечения одновременных наблюдений.

Кроме того, можно найти информацию и о приборах, не имеющих прямого отношения к рассматриваемой теме, однако также предназначенных для фотометрических целей. JWST (*James Web Space Telescope*) – большой 6.6-м телескоп для наблюдений в ближней и средней инфракрасной области. Планируемый запуск состоится в 2014 г. KEPLER – телескоп системы Шмидта, предназначенный для поиска планет земной группы вблизи близких звезд. EPOCH (*Extrasolar Planet Observations and Characterization*) – программа исследований, рассчитанная на исследование кометы “Tempel 1”. Миссия закончилась встречей с кометой Галлея в 2010 г., между

этими событиями выполнялась программа исследования внесолнечных планет. UIT (*Ultraviolet Imaging Telescope*) на борту обсерватории ASTRA – получены несколько сотен прямых снимков в 12 спектральных областях.

Помимо внеатмосферных исследований, поддерживается группа GSC (*Guide Star Catalogs*), занимающаяся оцифровкой фотопластинок размером $6.^\circ 5 \times 6.^\circ 5$, полученных на паломарском и английском телескопах системы Шмидта, а также другие совместные астрометрические проекты. Очень полезным дополнением является FIRST (*Faint Images of Radio Sky at Twenty-cm*) – обзор Северной и Южной полярных шапок в радиодиапазоне на длине волны $\lambda = 20$ см. Этот проект, эквивалентный по значимости паломарскому обзору, также размещен на сайте. Позиционная точность ≤ 0.5 arcsec на уровне 3 mJy.

Данные, поступающие с работающих спутников, непрерывно пополняются.

Ниже перечислены доступные каталоги, которые были получены с помощью спутников и наземных приборов, размещенные на: <http://archive.stsci.edu/>.

Copernicus (*Third Orbiting Astronomical Observatory*) (Роджерсон и др., 1973). На телескопе диаметром 80 см в 1972–1981 гг. с помощью сканирующих спектрометров в области $\lambda\lambda$ 900–1560 Å и $\lambda\lambda$ 1650–3150 Å получены спектры с высоким разрешением ($FWHM = 0.05 - -0.40$ Å) для 551 объекта.

EUVE (*Extreme Ultra Violet Explorer*) (Абботт и др., 1996). На спутнике, запущенном 7 июня 1992 г., установлен телескоп диаметром 40 см, снабженный спектрометром, работающим в трех спектральных областях: $\lambda\lambda$ 70–190 Å, $\lambda\lambda$ 140–380 Å, $\lambda\lambda$ 280–760 Å. Спектральное разрешение соответственно 0.5, 1 и 2 Å. Предназначенный для наблюдений звезд вблизи солнечной системы, аппарат получил данные почти для 1000 объектов, в том числе внегалактических, числом около тридцати. Один из результатов – “Звездный спектральный атлас” (Грейг и др., 1997). Наблюдаемый поток выражен в 10^{-2} photons \cdot s $^{-1}$ cm $^{-2}$ Å $^{-1}$.

FUSE (*Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer*) (Моос и др., 2000; Сахнов и др., 2000). Запуск состоялся 24 июня 1999 г. Аппарат работал до 18 октября 2007 г., пока не вышла из строя система ориентации. Телескоп представляет собой четыре независимых сегмента с соответствующим отражательным покрытием, при этом каждый сегмент рассчитан на работу в определенном спектральном интервале: $\lambda\lambda$ 905–1090 Å и $\lambda\lambda$ 917–1104 Å, $\lambda\lambda$ 988–1187 Å и $\lambda\lambda$ 978–1179 Å. Высокие требования к спектральному разрешению (15 км/сек) для четырех роуландовских спектрографов делают необходимыми большие размеры светоприемников – микроканальных пластин площадью 88×10 мм. Выполнено около 6000 наблюдений 3000 объектов в спектральном интервале $\lambda\lambda$ 905–1187 Å.

Абсолютная калибровка основана на наблюдениях белых карликов, выполненных на HUT и модельных расчетах выходящего потока (Сахнов и др., 2000).

Несколько полетов космических кораблей-челноков были посвящены астрофизическим наблюдениям.

ASTRO – астрономическая обсерватория на космическом корабле. В течение двух полетов на этой обсерватории выполнены три эксперимента: UIT (*Ultraviolet Imaging Telescope*), HUT (*The Hopkins Ultraviolet Telescope*), WUPPE (*The Wisconsin Ultraviolet Photo-Polarimeter*). Во время эксперимента Astro-1 работал также широкополосный рентгеновский телескоп BBXRT (*Broad Band X-Ray Telescope*).

Миссия ORFEUS (*Orbiting Retrivable Far and Extreme Ultraviolet Spectrometers*), включающая телескоп диаметром 1 м, предназначенный для работы в крайнем ультрафиолете $\lambda\lambda$ 400–1400 Å. Установлены следующие приборы: TUES (*Tubingen Echelle Spectrometer*), BEFC (*Berkley Extreme and Far-UV Spectrometer*), IMAPS (ORFEUS) (*Interstellar Medium Absorption Profile Spectrograph*). Совершено два полета: 12–22 сентября 1993 г. и 19 ноября – 7 декабря 1996 г.

HUT (*Hopkins Ultraviolet Telescope*) (Давидсен и др., 1992; Крук и др., 1995). Телескоп диаметром 90 см, снабженный спектрографом с вогнутой решеткой. Светоприемником служила микроканальная пластина с линейкой фотодиодов на выходе. Спектральное разрешение около 3 Å в интервале $\lambda\lambda$ 825–1850 Å, в 1-м порядке дифракционной решетки, и около 1.5 Å в интервале $\lambda\lambda$ 420–

925 Å (во 2-м порядке). Телескоп работал в течение двух экспедиций. Получено 136 наблюдений 87 объектов в течение первого полета и 385 наблюдений 265 объектов – в течение второго. Приводимые данные выражены в обычном виде: $erg\ cm^{-2}s^{-1}A^{-1}$.

WUPPE (Wisconsin Ultraviolet Photo-Polarimeter). Кассегреновский телескоп диаметром 0.5 м, снабжен фотополяриметром типа Монка-Джилесона для наблюдений в области $\lambda\lambda$ 1400–3300 Å с разрешением около 6 Å. Фотоприемник – микроканальная пластина с двойной линейкой фотодиодов. Призма Волластона разлагает падающий свет на два ортогонально-поляризованных пучка. Выполнено 98 наблюдений 75 объектов в первом полете и 369 наблюдений 254 объектов – во втором. Поляризационные наблюдения выполнены только во время 47 наведений. Данные представлены в виде fits-файлов и в обычном виде: $erg\ cm^{-2}s^{-1}A^{-1}$.

IMAPS (ORFEUS) (Interstellar Medium Absorption Profile Spectrograph) (Дженкинс и др., 1996). Эшелельный спектрограф высокого разрешения ($R \approx 240000$, соответствующий доплеровскому сдвигу около 1 км/сек) для области $\lambda\lambda$ 950–1150 Å. Наблюдались 9 ярких звезд в течение двух полетов: 12–22 сентября 1993 г. и 19 ноября – 7 декабря 1996 г. Данные представлены в виде fits-файлов

TUES (Tubingen Ultraviolet Echelle Spectrometer). Эшелельный спектрометр. Микроканальная пластина размером 40 × 40 мм обеспечивает регистрацию эшелельных спектров 40–61 порядков, обеспечивая спектральное разрешение около $R \approx 13000$ в области $\lambda\lambda$ 950–1150 Å. Абсолютная калибровка выполнена с помощью вторичного стандарта $BD + 28^\circ 4211$. Получено 239 спектров для 62 объектов.

BEFC (Berkley Extreme and Far-UV Spectrometer). Работал во время пилотируемых полетов “шаттлов” в 1993 и 1996 гг. Телескоп диаметром 1 м снабжен несколькими приборами. BEFS был рассчитан на регистрацию объектов в спектральном диапазоне $\lambda\lambda$ 400–1200 Å. Получены спектры 75 объектов во время первого полета и 120 спектров – во время второго. Каталог спектральных наблюдений в интервале $\lambda\lambda$ 900–1200 Å доступен на сайте. Данные выражены в $erg\ cm^{-2}s^{-1}A^{-1}$. Спектральное разрешение 95 км/сек для точечных источников.

IUE (International Ultraviolet Explorer): <http://ines.it.astro.it/ines/docs/>, <http://archive.stsci.edu/iue/search.php>.

INES (*IUE Newly Extracted Spectra*) – это окончательный архив данных, полученных с помощью спутника IUE. Содержит примерно 107 тыс. спектров для 9200 объектов. Наблюдения были проведены в спектральных диапазонах: $\lambda\lambda$ 2000–3300 Å и $\lambda\lambda$ 1200–2000 Å в двух режимах, с высоким ($\Delta\lambda = 0.1 - 0.3$ Å, $R = 2000$) и низким спектральным разрешением ($\Delta\lambda = 6-7$ Å, $R = 300$). Для абсолютной калибровки спектров применены модели белых карликов, наблюдения на других космических миссиях: HST, HUT, ОАО-2.

Библиотека высокодисперсионных спектров звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (Багнуло и др., 2003): <http://www.eso.org./sci/observing/tools/uvespor.html>.

Носит название UVES Project (*Ultraviolet-Visual Echelle Spectrograph Project*).

Представляет собой библиотеку около 400 спектров высокого разрешения ($R = 80000$) в интервале от 304 до 1040 нм для звезд ярче $7.^m5$. Наблюдения выполнены на спектрографе UVES Европейской южной обсерватории (Паранал). Об абсолютной калибровке спектров для желающих получить подробности открыт сайт: <http://www.eso.org./sci/observing/dfo/quality/UVES/qc/response.html>.

Библиотека звездных спектров ELODIE (Прюгниель и Суберан, 2001, 2007): <http://atlas.obs-hr.fr/elodie/>.

Библиотека начала создаваться в 1962 г. на 193-см телескопе обсерватории Верхнего Прованса и включает широкий интервал атмосферных параметров: $T_{eff} = 3000$ К до 60 000 К, $\log g =$ от -0.3 до $+5.9$, $[Fe/H] =$ от -3.2 до $+1.4$. Библиотека применена для синтеза звездных популяций (ЛеБорн и др., 2004).

Новая версия будет содержать около 2000 спектров для 1400 звезд с разрешением $\Delta\lambda \approx 0.55$ Å в интервале от 390 до 680 нм.

Индо-американская библиотека звездных спектров (Валдес и др., 2004): <http://www.noao.edu/cflib/>.

Библиотека *The Indo-U.S. Library of Coude Feed Stellar Spectra* (CFLib) состоит из 1273 спектров, полученных в фокусе куде на 0.9-м телескопе обсерватории Китт-Пик. Спектральное разрешение около 1 \AA , спектральный диапазон $\lambda\lambda 3460\text{--}9464 \text{ \AA}$. Спектры нормированы на длине волны $\lambda_0 = 5550 \text{ \AA}$. Для абсолютно-относительного распределения энергии приняты стандарты Пиклза (1998).

СПИТЦЕР – атлас звездных спектров (*SASS = the SPITZER Atlas of Stellar Spectra*) (Ардила и др., 2010).

Один из результатов внеатмосферных исследований на спутнике SST (*Spitzer Space Telescope*), временно размещенный на авторском веб-сайте: <http://web.ipac.caltech.edu/staff/ardilia/Atlas/>.

Приводится 159 звездных спектров в области 5–32 мкм с разрешением $R \approx 100$, полученных на ИК-спектрографе (*IRS = The InfraRed Spectrograph*; Хок и др., 2004).

Проект SDSS (Йорк и др., 2000; Соугтон и др., 2002).

SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) – один из наиболее амбициозных проектов. Основан при финансовой поддержке фонда Альфреда П. Слоуна, поддерживается Национальным научным фондом, Департаментом энергии Соединенных Штатов, НАСА, Обществом Макса Планка, Комитетом высшего образования Великобритании и японским (фондом) MOBUKAGAUSHO.

Для выполнения проекта применяется 2.5-м телескоп обсерватории Апачи-Пойнт (штат Нью-Мексико). Фотометрические наблюдения выполняются в 5 полосах: r, i, u, z, g . С помощью оптоволоконных кабель-соединений возможно одновременное получение 320 (X 2) спектров в спектральных интервалах $\lambda\lambda 3800\text{--}6150 \text{ \AA}$, $\lambda\lambda 5800\text{--}9200 \text{ \AA}$ с разрешением $\lambda/\Delta\lambda \approx 1800$. Атмосферная экстинкция и другие наблюдения, необходимые для калибровки, выполняются с помощью вспомогательного 0.5-м фотометрического телескопа. Абсолютная калибровка основана на распределении энергии в спектре субкарлика $BD + 17^\circ 4708$.

В течение первых двух этапов, с 2000 по 2008 гг., получены многоцветные изображения около миллиона галактик и квазаров на площади почти в четверть небесной сферы.

В настоящее время выполняется работа по трем научным направлениям:

1. Окончание обработки изображений и спектров. Среди 230 миллионов небесных объектов на площади 8 400 кв. грд. изображения и спектры 930 000 галактик, 120 000 квазаров, 225 000 звезд.
2. SEGUE (*The Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration*) – исследование архитектуры и истории Млечного Пути.
3. SSS (*Sloan Supernova Survey*) – Слоуновский обзор сверхновых. В течение трехмесячной кампании открыто около 500 сверхновых типа SNIa. Полученный наблюдательный материал применяется, в частности, для оценки ускоряющегося расширения Вселенной за последние 4 млрд лет. Окончание третьего этапа планируется в 2014 г.

Подробности о проекте можно найти на сайте: <http://www.sdss.org/>.

4 Выводы

В настоящее время существует большой набор наблюдательных и теоретических данных о распределении энергии в спектрах звезд разных температур и светимостей, находящихся на разных стадиях эволюции, с разнообразным химическим составом атмосфер.

С последней трети прошлого века эти данные широко применяются в популяционном синтезе.

Большая часть спектрофотометрических каталогов получена с применением космических аппаратов. Разнообразные современные наблюдательные каталоги обладают более высоким, чем ранее, спектральным разрешением. Все они получены на разных обсерваториях, сделаны с применением разных методик и различных стандартов. Поэтому крайне желательно тщательное сравнение этих наблюдательных данных между собой для создания однородного материала, пригодного для дальнейшего применения.

5 Благодарности

Мы искренне признательны А.А. Шляпникову за многочисленные ценные советы.

Литература

- Абботт и др. (Abbott M.J., Boyd W.T., Jelinsky P., et al.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1996. V. 107. P. 451.
- Алексеева и др. (Alekseeva G.A., Arkharov A.A., Galkin V.D., et al.) // *Baltic Astronomy.* 1996. V. 5. P. 603.
- Алексеева и др. (Alekseeva G.A., Arkharov A.A., Galkin V.D., et al.) // *Baltic Astronomy.* 1997. V. 6. P. 481.
- Аллард и Хаушильд (Allard F., Hauschildt P.H.) // *Astrophys. J.* 1995. V. 445. P. 433.
- Ардила и др. (Ardila D.R., VanDyk S.D., Makowiecki W., et al.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2010. V. 191. P. 301.
- Бааде (Baade W.) // *Astrophys. J.* 1944. V. 100. P. 137.
- Багнуло и др. (Bagnulo S., Jehin E., Ledoux C., et al.) // *Messenger.* 2003. V. 114. P. 10.
- Байк, Элоуин (Bica E., Alloin D.) // *Astron. Astrophys.* 1986. V. 162. P. 21.
- Байк и др. (Bica E., Alloin D., Schmidt H.) // *Astron. Astrophys.* 1994. V. 283. P. 805.
- Барстоу и др. (Barstow M.A., Holberg J.B., Hubeny I., et al.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2001. V. 328. P. 211.
- Бессель и др. (Bessel M.S., Brett J.M., Scholz M., Wood P.R.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1989. V. 77. P. 1.
- Бессель и др. (Bessel M.S., Brett J.M., Scholz M., Wood P.R.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1991. V. 89. P. 335.
- Бирюков и др. (Birukov V.V., Borisov G.V., Glushneva I.N., Shenavrin V.I.) // *Astron. Astrophys. Trans.* 1998. V. 16. P. 83.
- Болдри и Глэйзбрук (Baldry I.K., Glazebrook K.) // *Astrophys. J.* 2003. V. 593. P. 258.
- Болдуин и Стоун (Baldwin J.A., Stone R.P.S.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1984. V. 206. P. 241.
- Болин (Bohlin R.C.) // *Astron. J.* 1996. V. 111. P. 1743.
- Болин (Bohlin R.C.) // *Astron. J.* 2000. V. 120. P. 437.
- Болин и др. (Bohlin R.C., Dickinson M.E., Calcetti D.) // *Astron. J.* 2001. V. 122. P. 2118.
- Болин (Bohlin R.C.) // 2002 HST Calibration Workshop, Space Science Institute. / Eds Arribas S., Koekmoer A., Whitmore B. 2003. P. 115.
- Болин (Bohlin R.C.) // *Astron. J.* 2004. V. 128. P. 3053.
- Болин (Bohlin R.C.) // *ASP Conf. Ser.* 2007. V. 364. P. 315.
- Болин и Гиллиланд (Bohlin R.C., Gilliland R.L.) // *Astron. J.* 2004. V. 128. P. 3053.
- Борисов и др. (Borisov G.V., Glushneva I.N., Shenavrin V.I.) // *Astron. Astrophys. Trans.* 1998. V. 17. P. 309.
- Бразул и Шарло (Bruzual G., Charlot S.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2003. V. 344. P. 1000.
- Брегер (Breger M.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1976. V. 32. P. 7.
- Бурнашев В.И. // Среднее распределение энергии в спектрах звезд. Представлена Крымской астрофиз. обс. Депонирована в ВИНТИ 19.11.1980. № 4891-80.
- Валдес и др. (Valdes F., Gupta R., Rose J.A., Singh H.P., Bell D.J.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2004. V. 152. P. 251.
- Ганн и Страйкер (Gunn J.E., Stryker L.L.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1983. V. 52. № 2. P. 121.
- Ганн и др. (Gunn J.E., Stryker L.L., Tinsley B.M.) // *Astrophys. J.* 1981. V. 249. P. 48.
- Глушнева И.Н., Дорошенко В.Т., Фетисова Т.С., Хрузина Т.С., Колотилов Е.А., Моссаковская Л.В., Овчинников С.Л., Волошина И.Б. // *Спектрофотометрия ярких звезд (Справочник)*. М.: Наука. 1982.
- Глушнева и др. (Glushneva I.N., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N., Shenavrin V.I.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1992. V. 92. P. 1.

- Грегг и др. (Gregg M.D., Silva D., Rayner J., et al.) // The 2005 HST Calibration Workshop Space Telescope Science Institute. / Eds Koekmoer A.M., Goudfrooij P., Dressel L.L. 2005. P. 209.
- Грейг и др. (Graig N., Abbott M., Finley D., et al.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1997. V. 113. P. 131.
- Гутиеррез-Морено и др. (Gutierrez-Moreno A., Moreno H., Cortes G., Wendroth E.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1988. V. 100. P. 973.
- Давидсен и др. (Davidsen A.F., Long L.S., Durrance S.T., et al.) // Astrophys. J. 1992. V. 392. P. 264.
- Данкс и Деннефелд (Danks A.C., Dennefeld M.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1994. V. 106. P. 382.
- Джаммер и др. (Jamar C., Makau-Hercot D., Monfils A., Thompson G.I., Houziaux L., Wilson R.) // Ultraviolet Bright Stars Spectrophotometric Catalogue. ESA-SR-27. 1976.
- Джекоб и др. (Jacoby G.H., Hunter D.A., Christian C.A.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1984. V. 56. N. 2. P. 257.
- Дженкинс и др. (Jenkins E.B., Reale M.A., Zucchini P.M., Sofia U.J.) // Astrophys. Space Sci. 1996. V. 239. P. 315.
- Джоувел и др. (Jouvel S., Kneib J.-P., Ilbert O., Bernstein G., et al.) // Astron. Astrophys. 2009. V. 504. P. 359.
- Йорк и др. (York D.G., Adelman J., Anderson S.F., et al.) // Astron. J. 2000. V. 120. N. 3. P. 1579.
- Кайнни и др. (Kinnty A.L., Bohlin R.C., Blades J.C., York D.G.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1991. V. 75. P. 645.
- Кайнни и др. (Kinnty A.L., Bohlin R.C., Calzetti D., Panagia N., Wyse R.F.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1993. V. 86. P. 5.
- Кастелли и Куруц (Castelli F., Kurucz R.) // Modelling of Stellar Atmospheres. IAU Symp. N. 210. / Eds Piskunov N.E., Weiss W.W., Gray D.F. 2003. P. A20.
- Кенникатт (Kennicutt J.R.C.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1992. V. 79. P. 255.
- Килинг (Kiehl R.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1987. V. 69. P. 465.
- Киркпатрик и др. (Kirkpatrick J.D., Henry T.J., McCarthy D.Jr.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1991. V. 77. P. 417.
- Князева и Харитонов // Астрон. журн. 1996. Т. 73. С. 571.
- Кокран (Cochran A.) // Spectrophotometry with a self-scanned silicon photodiode array III. Publ. in Astronomy Univ. of Texas. 1980. V. 16.
- Колева и Васдекис (Koleva M., Vazdekis A.) // Astron. Astrophys. 2012. V. 538. P. A143.
- Колина и др. (Colina L., Bohlin R.C., Castelli F.) // Astron. J. 1996. V. 112. N. 1. P. 307.
- Комаров и др. (Komarov N.S., Dragunova A.V., Belik S.J., et al.) // Odessa Astron. Publ. 1995. V. 8. P. 3.
- Комаров и др. (Komarov N.S., Arkhipov M.G., Basak N.Yu., et al.) // Odessa Astron. Publ. 1998. V. 11. P. 3.
- Котулла и др. (Kotulla R., Fritze U., Weibacher P., Anders P.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2009. V. 396. P. 462.
- Коэльо и др. (Coelho P., Barbuy B., J., Schivarone R.P., Castilho B.V.) // Astron. Astrophys. 2005. V. 443. P. 735.
- Кремпин и Хойл (Crampin J., Hoyle F.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1961. V. 122. P. 27.
- Кроупа (Kroupa P.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2001. V. 322. P. 231.
- Крук и др. (Kruk J.W., Durrance S.T., Kriss G.A., et al.) // Astrophys. J. Lett. 1995. V. 454. P. L1-L6.
- Курниф (Koornneef J.) // Astron. Astrophys. 1983. V. 128. P. 84.
- Куруц (Kurucz R.) // *SYNTHE* Spectrum Synthesis Programs and Line Data. 1993. CD-ROM. N. 18.
- Куруц (Kurucz R.) // *TiO* linelist from Schwenke (1998). 1999a. CD-ROM. N. 24.
- Куруц (Kurucz R.) // *H₂O* linelist from Partridge and Schwenke (1998). 1999b. CD-ROM. N. 26.
- Ланкон и Вуд (Lancon A., Wood P.R.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 2000. V. 146. P. 217.
- Ланкон и Рокка-Вольмеранж (Lancon A., Rocca-Volmerange B.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1992. V. 96. P. 593.
- ЛеБорн и др. (Le Borgne J.-F., Bruzual G., Pello R., Lancon A., Rocca-Volmerange B., Sanahuja B., Schaerer D., Soubrian C., Vilchez-Gomez R.) // Astron. Astrophys. 2003. V. 402. P. 433.

- ЛеБорн и др. (Le Borgne J.-F., Bruzual G., Pello R., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 425. P. 881.
- Лежен и др. (Lejuene Th., Cuisinier F., Buser R.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1997. V. 125. P. 229.
- Лежен и др. (Lejuene Th., Cuisinier F., Buser R.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1998. V. 130. P. 65.
- Лейтерер (Leitherer C.) // *ASP Conf. Proceedings.* 2005. V. 761. P. 39.
- Лейтерер и др. (Leitherer C., Alloin D., Fritze-v. Alvensleben U., et al.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1996. V. 108. P. 996.
- Маку-Эрко и др. (Makau-Hercot D., Jamar C., Monfils A., et al.) // *Supplement to the Ultraviolet Bright Stars Spectrophotometric Catalogue.* ESA-SR-28. Paris. France. 1978.
- Малното и др. (Malyto V., Ostreicher M.O., Schmidt-Kaler Th.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1997. V. 286. P. 500.
- Манари, Кастелли (Munari U., Castelli F.) // *Astron. Astrophys.* 2001. V. 366. P. 1003.
- Манари и др. (Munari U., Sordo R., Castelli F., Zwitter T.) // *Astron. Astrophys.* 2005. V. 442. P. 1127.
- Марастон (Maraston C.) // *Extragalactic globular cluster systems.* Aug. 27–30, 2002. Munich. Germany. / Ed. Kissler-Patig M. 2003. P. 237.
- Марочник Л.С., Сучков А.А. // *Галактика.* М.: Наука. 1984.
- Миллер и Скало (Miller G.E., Scalo J.M.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1979. V. 41. P. 513.
- Моос и др. (Moos H.W., Cash W.C., Cowie L.L., et al.) // *Astrophys. J. Lett.* 2000. V. 538. P. L1-L6.
- Моррисэ и др. (Morrissey P., Siminovich D., Barlov T.A., et al.) // *Astrophys. J.* 2005. V. 619. P. L7.
- Моррисэ и др. (Morrissey P., Conrow T., Barlov T.A., et al.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2007. V. 173. P. 682.
- Мэрфи и Мескин (Murphy T., Meskin A.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2004. V. 351. P. 1430.
- Мэсси и др. (Massey P., Strobel K., Barnes J.V., Anderson E.) // *Astrophys. J.* 1988. V. 328. P. 315.
- Мэсси и Гронуэлл (Massey P., Gronwall C.) // *Astrophys. J.* 1990. V. 358. P. 344.
- Оук (Oke J.B.) // *Astron. J.* 1990. V. 99. N. 5. P. 1621.
- Оук и Ганн (Oke J.B., Gunn J.E.) // *Astrophys. J.* 1983. V. 266. N. 2. P. 713.
- Оук и Шилд (Oke J.B., Schild R.E.) // *Astrophys. J.* 1970. V. 161. P. 1015.
- Паласиос и др. (Palacios A., Gebran M., Josselin E., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2010. V. 516. A13.
- Петринферни и др. (Petrinforni A., Cassisi S., Salsris M., Castelli F.) // *Astrophys. J.* 2004. V. 612. P. 168.
- Петринферни и др. (Petrinforni A., Cassisi S., Salsris M., Castelli F.) // *Astrophys. J.* 2006. V. 642. P. 797.
- Пиклз (Pickles A.J.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1985. V. 59. P. 33.
- Пиклз (Pickles A.J.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1998. V. 110. P. 863.
- Попов С.Б., Прохоров М.Е. // *Успехи физ. наук.* 2007. Т. 177. № 11. С. 1179.
- Прюгниель и Суберан (Prugniel P., Soubiran C.) // *Astron. Astrophys.* 2001. V. 369. P. 1048.
- Прюгниель и Суберан (Prugniel P., Soubiran C.) // *IAU Symp.* N. 241. 2007. astro.ph/0703139.
- Роджерсон и др. (Rogerson J.B., Spitzer L., Drake J.F., et al.) // *Astrophys. J. Lett.* 1973. V. 181. P. L97.
- Родригес-Мерино и др. (Rodriguez-Merino L.H., Chavez M., Bertone E., Buzzoni A.) // *Astrophys. J.* 2005. V. 626. P. 411.
- Рубан Е.В., Алексеева Г.А., Архаров А.А., Гаген-Торн Е.И., Галкин В.Д., Никанорова Т.Н., Новиков В.В., Пахомов В.П., Пузакова Т.Ю. // *Письма в Астрон. журн.* 2006. Т. 32. С. 672.
- Сантос и др. (Santos J.R.C.Jr., Alloin D., Vica E., Bonatto C.) // *IAU Symposium № 207 "Extragalactic Star Clusters"*. 2002. P. 727.
- Санчес-Блазкез и др. (Sanchez-Blazquez P., Peletier R.F., Jimenez-Vicente J., et al.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2006. V. 371. P. 703.
- Сахнов и др. (Sahnou D.J., Moos H.W., Ake T.B., et al.) // *Astrophys. J. Lett.* 2000. V. 538. P. L7.
- Свидерскене (Sviderskene S.) // *Vilnius Bull.* 1988. N. 80. P. 3.
- Серот-Рус и др. (Serote Roos M., Boisson C., Joly M.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1996. V. 117. P. 93.
- Сильва и Корнелл (Silva D.R., Cornell M.E.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1992. V. 81. P. 865.
- Синкунегуи и Маас (Cincunegui C., Mauas P.J.D.) // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 414. P. 699.

- Солпитер (Salpeter E.E.) // *Astrophys. J.* 1955. V. 121. P. 161.
- Соугтон и др. (Soughton C., Lupton R.H., Bernardini M., et al.) // *Astron. J.* 2002. V. 123. N. 1. P. 485.
- Спинрад и Тейлор (Spinrad H. and Taylor B.J.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1971. V. 22. P. 445.
- Стоун (Stone R.P.S.) // *Astrophys. J.* 1974. V. 193. P. 135.
- Стоун (Stone R.P.S.) // *Astrophys. J.* 1977. V. 218. N. 2. P. 767.
- Стоун и Болдуин (Stone R.P.S., Baldwin J.A.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1983. V. 204. P. 347.
- Страйжис и Свидерскене // *Бюлл. Вильнюсск. Обсерв.* 1972. № 35. С. 3.
- Стрекер и др. (Strecker D.W., Erickson E.F., Witteborn F.C.) // *Astrophys. J. Suppl.* 1979. V. 41. P. 501.
- Стритцингер и др. (Stritzinger M., Suntzeff N.B., Hamuy M., et al.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 2005. V. 117. P. 810.
- Строунгилис и Болин (Strtongilis G.J., Bohlin R.C.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1979. V. 91. N. 540. P. 205.
- Тарншек и др. (Turnshek D.A., Bohlin R.C., Williamson R., Lupie O., Koorneeff J., Morgan D.) // *Astron. J.* 1990. V. 99. N. 4. P. 1243.
- Тейлор (Taylor B.J.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1984. V. 54. P. 259.
- Тейлор (Taylor B.J.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 2009. V. 121. P. 827.
- Терещенко В.М. // *Астрон. журн.* 1999. Т. 76. С. 604.
- Тиллер и др. (Thuiller G., Herse M., Labs D., et al.) // *Solar Phys.* 2003. V. 214. P. 1.
- Тинсли (Tinsley B.M.) // *Astrophys. J.* 1968. V. 151. N. 2. P. 557.
- Тинсли (Tinsley B.M.) // *Astrophys. J.* 1973. V. 186. P. 35.
- Тинсли (Tinsley B.M.) // *Astron. Astrophys.* 1972. V. 20. P. 383.
- Тинсли и Ганн (Tinsley B.M., Gunn J.E.) // *Astrophys. J.* 1976. V. 203. P. 52.
- Торрес-Доджен и Уивер (Torres-Dodgen A.V., Weaver W.B.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1993. V. 105. P. 693.
- Тьюг (Tug H.) // *Astron. Astrophys.* 1980a. V. 82. P. 195.
- Тьюг (Tug H.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1980b. V. 39. P. 67.
- Тьюг и др. (Tug H., White N.M., Lockwood G.W.) // *Astron. Astrophys.* 1977. V. 61. P. 679.
- Уайт и др. (White R.L., Becker R.H., Gregg M.D., Laurent-Muehleisen S.A., et al.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2000. V. 126. P. 133.
- Уиппл (Whipple F.L.) // *Harvard Obs. Circ.* 1935. N. 404. P. 1.
- Уорти (Worthey G.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1994. V. 95. P. 107.
- Фабер (Faber S.M.) // *Astron. Astrophys.* 1972. V. 20. P. 361.
- Фанелли и др. (Fanelli M.N., O'Connell R.W., Burstein D., Chi-Chao Wu) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1992. V. 82. P. 197.
- Финлей и др. (Finley D.S., Koester D., Basri G.) // *Astrophys. J.* 1997. V. 488. P. 375.
- Флакс и др. (Fluks M.A., Plez B., The P.S., De Winter D., Westerlund B.E., Steenman H.S.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1994. V. 105. P. 311.
- Фриц-Альвенслебен (Fritze-Alvensleben U.) // *ASP Conf. Ser.* 2000. V. 221. P. 179.
- Фумагалли и др. (Fumagalli M., Furniss A., O'Meara J., Prochaska J.K., Williams D., Farina E.) // *Astron. Astrophys.* 2012. V. 545. P. A68.
- Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. // *Спектрофотометрический каталог звезд (Справочник)*. Алма-Ата: Наука. 1988.
- Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. // *Спектрофотометрический каталог звезд (3-е издание)*. Алма-Ата: Казак университети. 2011.
- Хейес (Hayes D.S.) // *Astrophys. J.* 1970. V. 159. P. 165.
- Хейес (Hayes D.S.) // *Calibration of fundamental stellar quantities. IAU Symp. N. 111.* / Eds. Hayes D.S., Pasinetti L.E., Davis P.A.C. Reidel. Dordrecht. 1985. P. 225.
- Хейес и Латам (Hayes D.S., Latham D.W.) // *Astrophys. J.* 1975. V. 197. P. 593.
- Хек и др. (Heck A., Egret D., Jashek M., Jashek C.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1984. V. 57. P. 213.

- Хок и др. (Houck J.R., Roelling T.L., van Greve J., et al.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2004. V. 154. P. 18.
- Хэмай и др. (Hamuy A.R., Walker A.R., Suntzeff N.B., Gigoux P., Heathcote R., Phillips M.M.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1992. V. 104. P. 533.
- Хэмай и др. (Hamuy A.R., Suntzeff N.B., Heathcote R., Walker A.R., Gigoux P., Phillips M.M.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1994. V. 106. P. 566.
- Шейнер (Scheiner J.) // *Astrophys. J.* 1899. V. 9. N. 3. P. 149.
- Шилд и др. (Schild R., Peterson D.M., Oke J.B.) // *Astrophys. J.* 1971. V. 166. P. 95.
- Янсен и др. (Jansen R.A., Fabricant D., Franx M., Caldwell N.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2000. V. 126. P. 331.