

А.В.ХАРИТОНОВ

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЕЗДНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ В АСТРОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

П. Новые наблюдения и спектрофотометрические каталоги

Описывается создание ряда каталогов спектрофотометрических характеристик звезд и результаты сравнительного анализа данных, полученных на нескольких обсерваториях.

К моменту организации лаборатории звездной спектрофотометрии в АФИФ спектрометр с плоской решеткой был заменен изготовленным у нас новым спектрометром с вогнутой решеткой, установленной по схеме Сейя - Намиока. Прибор показал отличные эксплуатационные качества, и все каталогные наблюдения выполнялись уже с ним. Начиная массовые спектрофотометрические исследования звезд, в первую очередь нужно было решить вопросы о стандарте и об учете атмосферной экстинкции, т.е. необходимо было определять коэффициент прозрачности атмосферы.

Если разность воздушных масс $dM = M_{\text{зв}} - M_{\text{ст}}$ мала, то будет мала и вносимая ошибка, если мы воспользуемся средним значением коэффициента прозрачности. Распределение энергии для исследуемой звезды получается по формуле:

$$E_{\text{зв}}(\lambda) = E_{\text{ст}}(\lambda) \times [\Pi_{\text{зв}}(\lambda) / I_{\text{ст}}(\lambda)] \times p(\lambda) D^M, \quad (1)$$

где $E_{\text{зв}}(\lambda)$ и $E_{\text{ст}}(\lambda)$ - распределения энергии в спектрах звезды и стандарта, $I_{\text{зв}}(\lambda)$ и $I_{\text{ст}}(\lambda)$ - отсчеты прибора на программную и стандартную звезду, $p(\lambda)$ - коэффициент прозрачности, а $D^M = M_{\text{зв}} - M_{\text{ст}}$ - разность воздушных масс, при которых наблюдаются звезда и стандарт. Легко видеть, что если $dM \leq 0.05$, а $p(\lambda)$ отличается от истинного в момент наблюдений на 20%, то ошиб-

ка, вносимая в $E(\lambda)$ будет всего 1%. Это подсказывает методику наблюдений – наблюдать исследуемую звезду и стандарт приблизительно на одинаковых зенитных расстояниях, с минимальным интервалом времени между их наблюдениями. Тогда можно не определять коэффициент прозрачности каждую ночь, а использовать его среднее для обсерватории значение, или подбирая пары звезд-стандартов на нужных зенитных расстояниях контролировать текущий коэффициент прозрачности

Используя такой подход, в качестве стандартных были выбраны восемь звезд: β Ari, γ Ori, β Tau, α Leo, η UMa, α Lyr, α Aql и α Peg. Для этих звезд уже имелись наши данные о распределении энергии, они удачно расположены на небе, позволяя обеспечить наблюдения в течение всего года. Предварительное абсолютное распределение энергии в их спектрах, обозначенное как $E_{\text{ст}}^{68}(\lambda)$, было рассчитано на основании графического усреднения данных из работ Харитонова А.В. и Глушневой И.Н. для уточнения нескольких исследований хода относительного распределения с длиной волны.

К 1972 г. появились новые независимые исследования распределения энергии в спектре Веги и других стандартных звезд. Так Банер осу-

ществил привязку спектров группы звезд к спектру Веги и калибровку спектра самой Веги. Абсолютную калибровку Веги выполнили Хайес, Ок и Шилд.

Наши значения $E_{\text{cr}}^{68}(\lambda)$ достаточно хорошо соответствовали результатам этих авторов и было принято, что система $E_{\text{cr}}^{68}(\lambda)$ достаточно однородна и пока нет особых оснований для ее пересмотра.

Новая проверка системы стандартов на однородность была проведена в 1976 г. К этому времени в АФИФ и в ГАИШ было сделано уже много наблюдений по каталожной программе. Кроме осуществлявшихся взаимных привязок для получения стандарта E_{cr}^{76} были использованы значения E_{cr}^{68} , а также данные, полученные В.Б. Никоновым и Г.А. Терез, и фотометрия Джонсона – Митчелла, т.е. всего было использовано пять независимых источников. Впоследствии все полученные спектроэнергетические кривые были редуцированы к системе стандартов E_{B}^{76} .

Контроль однородности системы стандартов был проведен по наблюдениям 1976 - 1983 г.г., который подтвердил удовлетворительное согласие новых и прежних результатов, и ревизии $E_{\text{cr}}^{76}(\lambda)$ не требовалось. Для Веги распределение энергии оставалось прежним $E_{\text{B}}^{76}(\lambda) = E_{\text{B}}^{68}(\lambda)$.

В 1985 году было опубликовано распределение энергии в спектре Веги, основанное на взвешенном усреднении ряда калибровок, выполненных в зарубежных и советских обсерваториях. Так как оно представлялось наиболее надежным в то время, была выполнена редукция остальных стандартов к этому распределению у Веги:

$$E_{\text{cr}}^{85}(\lambda) = E_{\text{cr}}^{76}(\lambda) \cdot E_{\text{B}}^{85}(\lambda) / E_{\text{B}}^{76}(\lambda), \quad (2)$$

Первая большая работа лаборатории звездной спектрофотометрии АФИФ [1] была предпринята для обеспечения других астрофизических, в первую очередь – спектрофотометрических наблюдений. Возникла идея – создать сетку зональных стандартов, разделив небесную сферу на ряд участков – зон и на каждом участке выбрать звезду таким образом, чтобы при прохождении ее вблизи меридиана разность воздушных масс у этой звезды и у любого объекта, находящегося на этом участке, не превышала, например, 0.05.

Для повышения точности и надежности результата каждую звезду программы было решено наблюдать не менее трех раз, причем в раз-

ные ночи. Одно наблюдение состояло в двукратном сканировании спектра звезды в противоположных направлениях. При обработке отмечалось, к каким стандартам и сколько раз “привязывалась” каждая звезда, чтобы впоследствии, после уточнения данных о стандартах, можно было ввести поправки. Среднее значение коэффициента прозрачности время от времени уточнялось на основании специальных наблюдений.

В спектрофотометрическом каталоге [2] приведены данные об абсолютном распределении энергии в спектрах 1159 звезд разных спектральных классов в области спектра от 320 до 760 нм. Результаты представлены в виде гистограмм с шагом 5 нм. Они относятся к интегральному спектру, т. е. на протяжении ступеньки усреднены интенсивности непрерывного спектра и линий поглощения. Данные в этом каталоге редуцированы к $E_{\text{cr}}^{85}(\lambda)$. Средняя квадратичная ошибка, характеризующая внутреннюю точность, у большинства звезд составляет 1.5 - 4 % в видимой области, но в ультрафиолете у поздних звезд доходит до 8 - 10%..

После издания каталога [2] было получено распределение энергии звезд редких типов, мало или вообще не представленных в основном каталоге. Так, исследованы: группа ранних звезд в созвездии Лебедя - области, чрезвычайно богатой разными интересными объектами, звезды редкого спектрального класса O, распределение энергии в спектрах гигантов и сверхгигантов поздних подклассов класса M и, наконец, циркониевые и углеродные звезды. Таким образом, всего в Астрофизическом Институте получено распределение энергии в спектрах около 1400 звезд.

Хорошо было бы иметь звезду – стандарт вблизи Северного полюса мира, доступную для наблюдений в течение всего года. После предварительных исследований в качестве основного “квазипервичного” стандарта для будущих наблюдений была выбрана звезда HD 221525 (BS8591). Кроме того, что она находится вблизи Северного полюса мира ($\delta = +87^{\circ}18'$), и, следовательно, доступна для наблюдений круглый год, она имеет другие преимущества. Ее блеск $V = 5.^m59$ близок к блеску большинства звезд каталога и допускает стандартизацию объектов до $9 - 10^m$ (чтобы Δm между объектом и стандартом не превосходила $4-5^m$). Но главное в том, что , являясь одной из основных стандартных звезд

фотометрического WBVR каталога, она многократно наблюдалась на протяжении многих лет, пока создавался этот каталог и не было никаких оснований заподозрить ее в переменности. К настоящему времени распределение энергии в спектре HD 221525 тщательно исследовано путем многократных привязок к α Peg, β Ari, γ Ori, α Aql и β Tau.

Несмотря на сходство методики работы лаборатории звездной спектрофотометрии АФИФ и спектрофотометрической группы ГАИШ их результаты являются совершенно независимыми исследованиями, так как наблюдения выполнены в разное время, на разных телескопах, на разных, хотя и сходных, спектрометрах и обработка делались разными людьми. Поэтому сравнение наших результатов с полученными группой ГАИШ представляет несомненный интерес. Такие сравнения выполнялись несколько раз. К 1976 году количество общих звезд достигло 231. Для них были найдены относительные разности:

$$\Delta = 2 [E^M(\lambda) - E^A(\lambda)] / [E^M(\lambda) + E^A(\lambda)] \cdot 100\%,$$

в четырех длинах волн 3600, 4500, 5500 и 6700

А. Из этих групп были исключены все разности $\Delta > 20\%$. Таких разностей оказалось 17, 10, 8 и 14 соответственно. Очевидно, в этих случаях были допущены какие-то промахи. Средние для всех оставшихся звезд значения Δ равны 0.5, 1.6, 2.8 и 3.4 соответственно, в среднем 2.1%.

Это систематическое различие между московским и алмаатинским каталогами вдвое меньше случайных ошибок (4%) каждого каталога.

В 1992 году из 473 общих звезд, содержащихся в Алмаатинском и Московском каталогах, было выбрано 238 звезд, показывающих наилучшее согласие, у которых различие E_A и E_M , не превосходило 5%. Их средние значения $(E_A + E_M)/2$, можно рассматривать как более надежные и представлены как вторичные стандарты.

На основе вышеизложенного можно подвести следующие итоги..

1. Составлены каталоги абсолютного распределения энергии в спектрах более 1400 звезд , видимых в северном полушарии.

2. Было выведено нормальное, т.е. освобожденное от эффекта межзвездного покраснения, распределение энергии для 75 спектральных подклассов[3]. Оно выводится, как и нормальные показатели цвета, как средние распределение энергии для некоторой группы звезд одного и того

же спектрального подкласса. Последняя оговорка нужна для того, чтобы, если не исключить, то по крайней мере уменьшить влияние различных случайных пекулярностей, не свойственных данному типу звезд. Нормальное распределение - необходимое дополнение к спектральной классификации.

При выведении нормального распределения были использованы три спектрофотометрических каталога: Алма-Атинский , Московский и Пулковский. Несмотря на существенное различие методики наблюдений, согласие распределений энергии для общих звезд, выбранных для выведения нормального распределения вполне удовлетворительное.

2. Используя выведенное нормальное распределение и кривые реакции фотометрических систем, были вычислены нормальные показатели цвета звезд в трех фотометрических системах: Вильнюсской, WBVR и uvby. Они хорошо согласуются с нормальными показателями, полученными обычным путем .

3. Особо выделены звезды, наиболее типичные по распределению энергии (относительному) для данного спектрального подкласса .

4. По звездам с известными параллаксами среди тех, по которым было выведено нормальное распределение, были вычислены редукционные множители, дающие абсолютные монохроматические потоки от звезды данного подкласса, находящейся на расстоянии в 10 парсек .

Таким образом, завершен весьма продолжительный и продуктивный этап исследований в области абсолютной звездной спектрофотометрии, который базировался на наблюдениях с спектроэлектрофотометрической аппаратурой.

Однако было бы неверным полагать, что на этом проблема создания спектрофотометрических стандартов и каталогов решена полностью. Применение современных панорамных приемников (ПЗС-матриц) и космических средств наблюдения открывает новые возможности в измерениях особо высокой точности и в более широком спектральном диапазоне. В этом отношении мы возлагаем надежду на создаваемую Всемирную Космическую Обсерваторию (ВКО), участие в которой представляется безусловно важным и необходимым для развития космической деятельности нашей республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терещенко В.М., Харитонов А.В. Зональные спектрофотометрические стандарты. Исследование распределение энергии в спектрах 109 звезд в абсолютных единицах// Каз.ССР . Изд-во "Наука". Труды АФИ. 1972. Т.21. С.1-185.
2. Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд// КазССР. Изд-во "Наука". 1988. С. 1-477.
3. Князева Л.Н., Харитонов А.В. Нормальные и вычисленные показатели цвета звезд-гигантов в трех фотометрических системах // Астрон. Журн., 2002, Т.79. С.172-181.

Резюме

Жұлдыздардың спектрфотометрлік сипаттамаларының бірнеше каталогтары жасалған және бірнеше обсерваторияларында алынған мәліметтердің салыстырмалы талдаулар нәтижелері баяндалған.

Summary

The creation of a number of the catalogues of the stars spectrophotometric characteristics and the results of comparative analysis of the data obtained in few observatories are briefly described.

Астрофизический ин-т им. В.Г.Фесенкова
г. Алматы

Поступила 20 апреля 2007 г.