

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВПО
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина» кандидат физико-
математических наук, доцент

В.В.Кружаев

11 2014 г.



**Методика наблюдений на 1.2-м телескопе
с использованием спектрографа высокого разрешения**

Директор Коуровской астрономической
обсерватории, кандидат физико-математических
наук, старший научный сотрудник

П.Е.Захарова

г. Екатеринбург, 2014 г.

Содержание

Введение.....	3
1 Основные положения методики	5
1.1 Выбор оптимального по размерам оптоволокна	5
1.2 Оптимальная продолжительность экспозиции одного кадра и необходимое количество кадров спектра для получения высокого отношения сигнал/шум.....	7
1.3 Оптимальная частота получения спектров калибровочных ламп	11
Заключение	14
Литература	15

Введение

При разработке методики спектральных наблюдений звезд на оптоволоконном эшелле-спектрометре высокого разрешения 1.2-м телескопа ставилась задача разработки программы наблюдений, которая позволяла бы получать спектральный материал оптимального качества, как по возможности регистрации высокого отношения сигнал/шум, так и по точности определения шкалы длин волн.

Альт-азимутальный телескоп Коуровской астрономической обсерватории УрФУ с диаметром главного зеркала 1.2-м является одним из крупнейших телескопов, которыми оснащены астрономические обсерватории российских вузов. Степень автоматизации телескопа удовлетворяет современным требованиям астрономических наблюдений. Телескоп способен с высокой скоростью и большой точностью произвести наведение на объект по заранее заданным координатам.

Телескоп имеет три рабочих фокуса, с двумя масштабами формирования изображений [1]. В настоящее время телескоп оснащен эшелле-спектрометром высокого разрешения и спектрометром низкого разрешения и используется в качестве питающей оптики для них.

Оптоволоконный эшелле-спектрометр высокого разрешения — это современный спектрограф, применяемый для производства спектральных наблюдений на большинстве обсерваторий мира. Спектрометр собран по схеме белого зрачка, которая позволяет исключить влияние структуры светового потока, падающего на входную щель прибора, на профиль спектрального изображения, а также избавиться от присущего классическим кудэ эшелле-спектрометрам астигматизма [1]. В настоящий момент спектрометр обеспечивает два спектральных разрешения $R = 15000$ и 30000 в зависимости от диаметра выбранного оптоволоконна — 5 и 10 угловых секунд в масштабе телескопа.

Оптоволоконный эшелле-спектрометр высокого разрешения 1.2-м телескопа Коуровской астрономической обсерватории УрФУ, собранный по схеме белого зрачка, является в настоящий момент единственным действующим прибором подобного типа в России.

1 Основные положения методики

Основные этапы разработки методики:

- определение критерия выбора диаметра оптоволоконного кабеля (5" или 10") в зависимости от блеска звезды, качества (размера) изображения и требуемого разрешения спектра;
- подбор оптимальной экспозиции отдельного кадра спектра и определение количества кадров для получения высокого отношения сигнал/шум в спектре в зависимости от блеска звезды,
- подбор оптимальной частоты получения спектров калибровочной ThAr лампы в процессе спектральных наблюдений.

1.1 Выбор оптимального по размерам оптоволоконна

Критерий выбора оптоволоконна определенного диаметра определяется размером изображений звезд в пункте наблюдений. В Коуровской астрономической обсерватории УрФУ размеры изображений звезд (полуширина профиля изображения) достигают 4–8 угловых секунд, поэтому чаще всего наблюдения на эшелле-спектрографе 1.2-м телескопа необходимо проводить с использованием оптоволоконна большего диаметра — 10 угловых секунд в масштабе телескопа. В этом случае для формирования спектра оптимального качества используется основная доля света звезды, собранного оптикой телескопа. Разрешение спектрографа уменьшается в два раза по сравнению с наблюдениями, в которых используется оптоволоконно диаметром 5 угловых секунд. В то же время, величина светового потока, идущего на формирование изображения спектра, значительно увеличивается, что дает возможность сократить время наблюдений данного объекта. В обратном случае при необходимости получения высокого разрешения следует

применять оптоволоконно с угловым диаметром 5 угловых секунд и, соответственно, увеличивать экспозицию для получения высокого отношения сигнал/шум в спектре.

Окончательный выбор диаметра применяемого оптоволоконна должен определяться с учетом решаемой задачи. На рисунке 1 представлены два фрагмента одного и того же участка спектра звезды в районе линий межзвездного дублета натрия, полученные через оптоволоконные фиберы различного диаметра, но с одной экспозицией. Линии дублета натрия в спектре, полученном через более узкий фибер ($d = 5''$) с большим разрешением, имеют сдвоенную структуру, которая не видна на нижнем фрагменте, полученном через более широкий фибер. В тоже время шумовая дорожка шире на верхнем фрагменте, что указывает на более низкое значение отношения сигнал/шум.

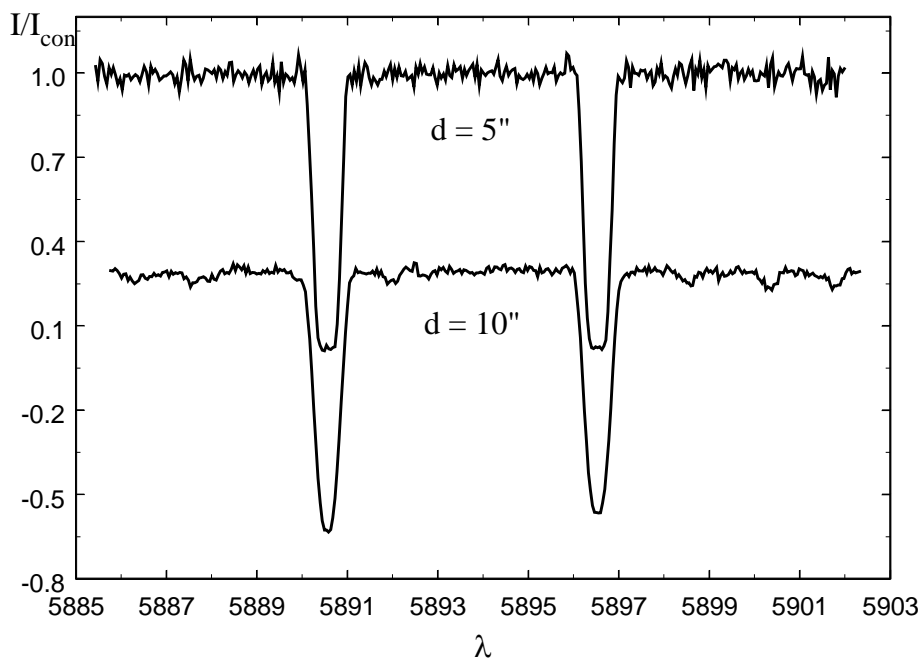


Рисунок 1 — Фрагменты спектра в районе линий дублета натрия, полученные с использованием оптоволоконных фиберов различного диаметра

1.2 Оптимальная продолжительность экспозиции одного кадра и необходимое количество кадров спектра для получения высокого отношения сигнал/шум

Среднее время экспозиции для получения спектра звезды 7-й звездной величины на эшелле-спектрометре 1.2-м телескопа с приемлемым для дальнейшей обработки значением сигнал/шум составляет 1 час. Для получения спектра звезды 8-й звездной величины необходима в 2.5 раза большая экспозиция. За такие промежутки времени кадр спектра в значительной степени засоряется следами космических частиц, пролетающими через поверхность светочувствительного элемента ПЗС-камеры. Следует также учитывать возрастающую при длительных экспозициях вероятность технического сбоя регистрирующей аппаратуры, что неизбежно приведет к потере накопленного изображения спектра, т.к. в этом случае оно еще не будет считано в память компьютера. Для минимизации влияния этих двух факторов необходимо проводить наблюдения с минимально возможной величиной экспозиции. Ее продолжительность может определяться, например, величиной шума считывания ПЗС-матрицы, то есть необходимым временем для накопления сигнала с величиной отношения сигнал/шум, превышающим в несколько раз шум считывания. Выполнение последнего условия необходимо для увеличения отношения сигнал/шум в отсчетах суммарного кадра спектра при последующем сложении кадров, полученных с такой минимальной экспозицией. Делать отдельные экспозиции спектров слишком маленькими, тоже не рационально, так как время, затрачиваемое на считывание кадров, станет слишком большим.

Для звезд 7 звездной величины достичь уровня отношения сигнал/шум 50–70 в средней области спектра (длина волны света $\sim 5000 \text{ \AA}$) можно при

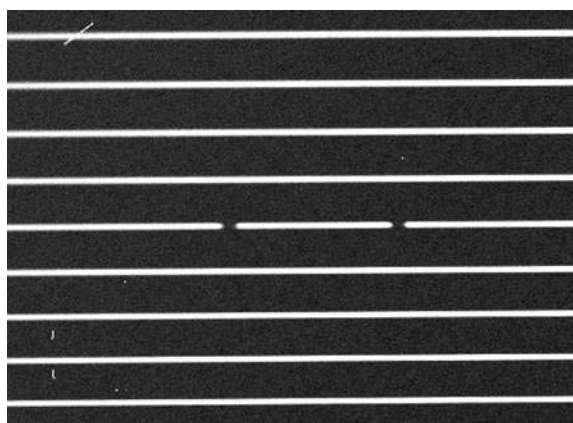
использовании трех экспозиций по 20 минут. Последующее медианное суммирование полученных с относительно короткой экспозицией кадров спектра, приведет к такой же величине отношения сигнал/шум, как и при одной продолжительной экспозиции. При этом автоматически исключается влияние следов космических частиц на снимке суммарного спектра и минимизируется вероятность потери накопленного кадра из-за случайного сбоя регистрирующей аппаратуры или процедуры ведения телескопа. Количество кадров равное или больше трех — необходимое условие для осуществления операции медианного усреднения (суммирования). Последующее суммирование, полученных с относительно короткой экспозицией кадров спектра, по схеме медианного усреднения приведет к такой же величине отношения сигнал шум, как и при одной продолжительной экспозиции. При этом автоматически исключается влияние следов космических частиц на снимке суммарного спектра и минимизируется вероятность потери накопленного кадра из-за случайного сбоя регистрирующей аппаратуры или процедуры ведения телескопа. Количество кадров равное или больше трех – это необходимое условие для осуществления операции медианного усреднения (суммирования).

На рисунке 2 приведен пример проявления воздействия космических на ПЗС-чип, а на рисунке 3 показана работа процедуры медианного усреднения на примере участка кадра спектра звезды в районе линии HeI 5876 и желтого дублета натрия.

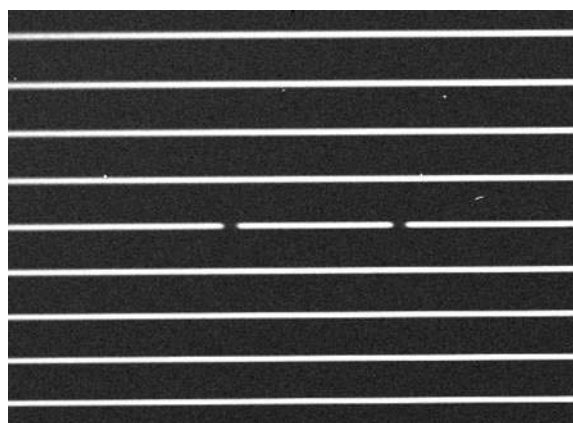
Для более слабых звезд величину экспозиции отдельного кадра необходимо увеличить до 30–40 минут, также следует увеличить и количество кадров, что обеспечит достижение необходимого для последующей обработки отношения сигнал/шум в суммарном спектре.



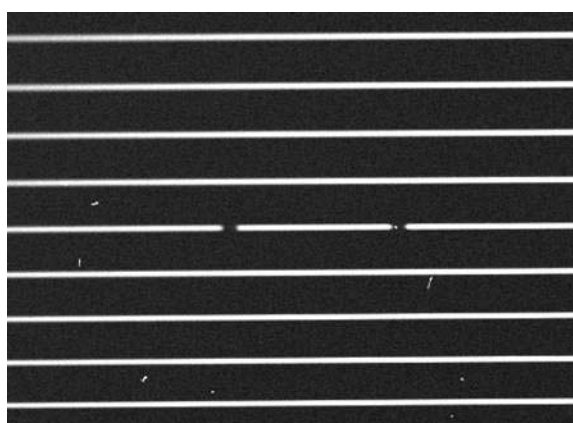
Рисунок 2 — Пример экстремального зашумления участка эшелле-спектра треками космических частиц при длительной экспозиции



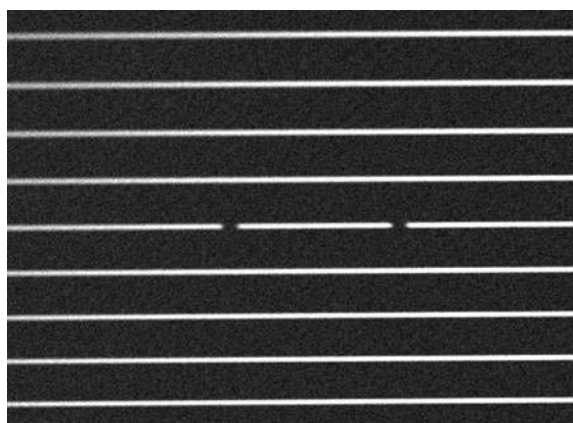
а)



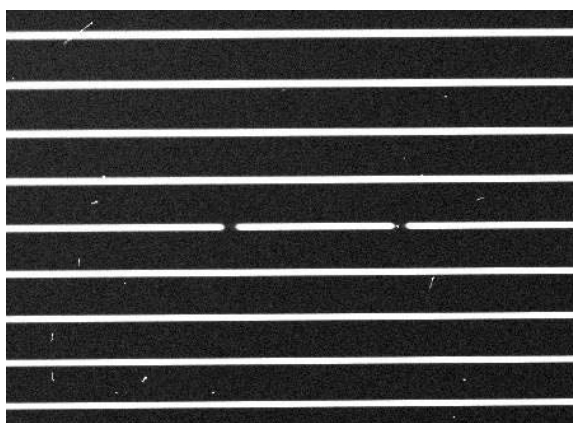
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3 — Участки спектра звезды в районе линий желтого дублета натрия: а), б), в) — кадры, полученные с 20 минутными экспозициями (белые точки и черточки — следы космических частиц), г) — «чистый» кадр с эффективной экспозицией 1 час, полученный медианным усреднением трех 20-минутных кадров; д) — «замусоренный» кадр, полученный одной экспозицией 1 час

1.3 Оптимальная частота получения спектров калибровочных ламп

Для построения дисперсионной кривой и правильного проведения уровня континуума в порядках эшелле-спектра звезды, нужных при последующей обработке спектра для извлечения научной информации, необходимо иметь спектры калибровочных ламп. В нашем случае это — галогенная лампа непрерывного спектра и ThAr (торий-аргоновая) лампа с полым катодом, дающая спектр с равномерно распределенным по всей длине спектра набором эмиссионных линий. Лампы имеют достаточно большую яркость, поэтому для получения их спектров с высоким значением отношения сигнал/шум не нужны длительные экспозиции. В случае эшелле-спектрометра 1.2-м телескопа экспозиции составляют несколько десятков секунд. За такое короткое время, как правило, следы космических частиц не успевают появиться на ПЗС-кадре спектра, поэтому, в большинстве случаев, достаточно одного кадра.

Общее время наблюдений исследуемого объекта может составлять несколько часов, например, зимой — до 10–11 часов. За такой промежуток времени из-за небольших колебаний температуры в помещении, где установлен эшелле-спектрометр, и микровибраций, возникающих, например, при работе электронно-механического затвора ПЗС-камеры, изображение спектра может сдвигаться относительно пикселей ПЗС-матрицы. Если учесть, что кадры спектров исследуемого объекта и калибровочных ламп получаются не одновременно, это может привести к систематическим ошибкам в определении длин волн спектральных линий. Поэтому, при разработке методики наблюдений на эшелле-спектрометре необходимо учитывать это обстоятельство.

Проведенное исследование показало, что в течение ночи могут происходить небольшие сдвиги спектра — от половины до одного пикселя ПЗС-матрицы (12–24 мкм). В течение сезона наблюдений возможны систематические смещения на величину до 10 пикселей (рисунок 4).

Таким образом, при разработке методики спектральных наблюдений на эшелле-спектрометре 1.2-м телескопа была определена частота получения спектров калибровочных ламп и порядок их получения относительно спектров исследуемого объекта, чтобы исключить или свести к минимуму эффект сдвига.

Так по величине определяемого смещения значений длин волн теллурических линий в спектре исследуемого объекта было установлено, что эффект сдвига практически не сказывается на определяемых длинах волн, если использовать усредненные калибровочные спектры ThAr лампы, полученные до и после экспозиции исследуемого объекта. С учетом возможности систематического сдвига, калибровочные спектры необходимо получать не реже одного в час. При соблюдении данных условий точность определения лучевых скоростей узких линий, например, межзвездных линий NaI, CaII, теллурических линий и др. по спектрограммам, полученным на эшелле-спектрографе 1.2-м телескопа, составляет 0.2–0.5 км/с.

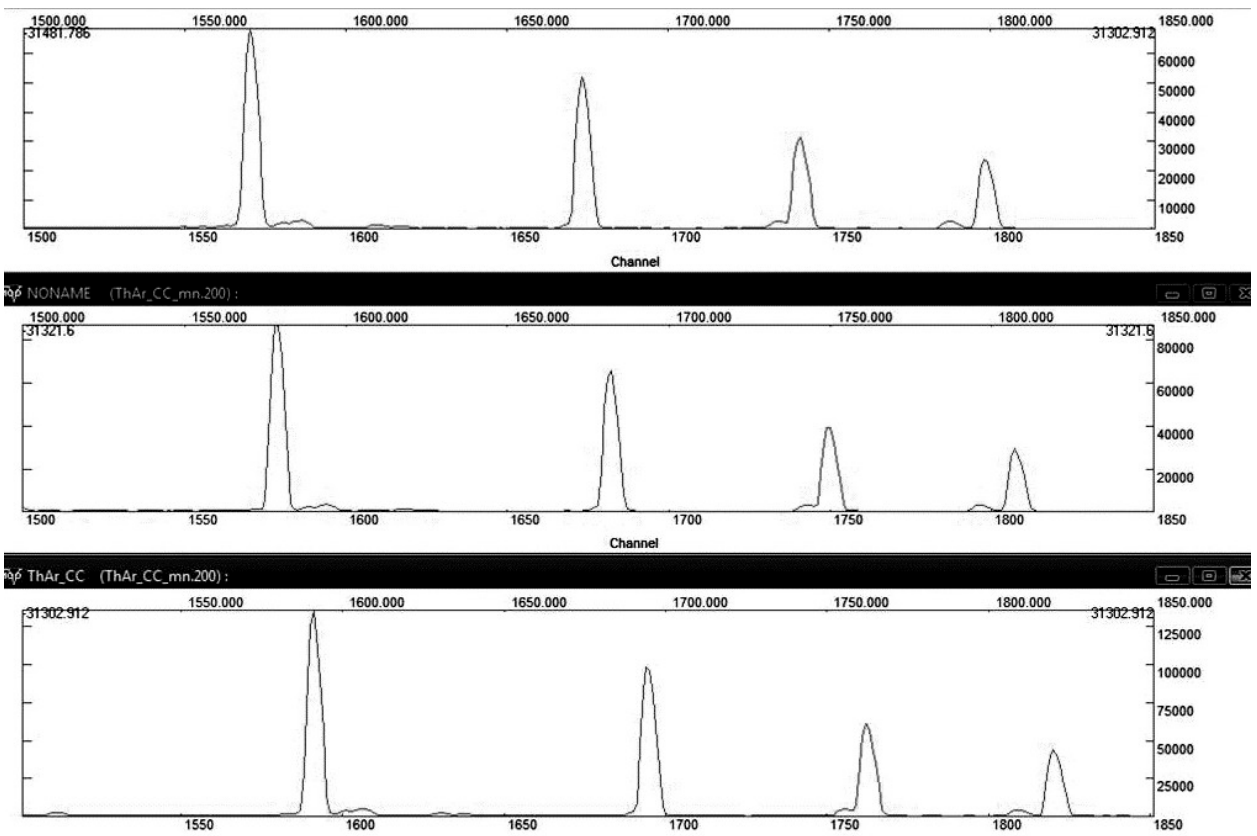


Рисунок 4 — Смещение спектральных линий торий-аргоновой лампы относительно пикселей ПЗС-матрицы за интервал времени 2 месяца

Заключение

Таким образом, методика спектральных наблюдений на уникальной научной установке эшелле-спектрометр 1.2-м телескопа включает в себя следующие положения.

- 1) Выбор размера оптоволоконна (5 или 10 угловых секунд) в зависимости от требуемого разрешения спектра, размеров изображений звезд в ночь наблюдений и их яркости.
- 2) Определение числа кадров спектра (не менее трех) исследуемого объекта, которые необходимо получить, применяя короткие (20–30 минут) экспозиции.
- 3) Кадры спектров калибровочных ламп следует получать до и после общей экспозиции исследуемого объекта, но не реже, чем один кадр в час.

Последующую обработку полученных кадров спектра исследуемого объекта (проведение медианного суммирования, экстракцию порядков и т.п.) можно осуществлять в одном из программных пакетов, предназначенных для этих целей, например, в пакете DECH [3].

Литература

1. Горда С.Ю., Захарова П.Е., Крушинский В.В., Кузнецов Э.Д. // Труды 40-й международной студ. науч. конф. «Физика Космоса». Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. С. 110–114.
2. Ranchuk V.E., Yushkin M.V., Yakorov M.V. // *Astrophys. Bull.* 2011. V. 66. P. 355.
3. Галазутдинов Г. Препринт САО РАН. 1992. № 92.