

Приложение Г.

Техническая документация по методике спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением интерференционно-дифракционного спектрографа на УНУ БТА.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Рег. №

УДК 520.27, 520.843

УТВЕРЖДАЮ
Вр.и.о. директора САО РАН
член-корр. РАН Балега Ю.Ю.

1 декабря 2015 г.

Методика спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением
интерференционно-дифракционного спектрографа на УНУ БТА

Разработана в рамках
Соглашения № 14.619.21.0004 от 22 августа 2014 г.

Нижний Архыз

2015

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, заместитель
директора САО РАН, к.ф.-м.н

В.В.Власюк
(Общее руководство)

Исполнители темы:

Главный научный сотрудник, д.ф.-
м.н.

В.Е. Панчук
(Разработка методики)

Нормоконтролер,
старший экономист САО РАН

Т.Ф.Труфанова

СОДЕРЖАНИЕ

1	ТЕМА ПРОЕКТА	85
2	ЦЕЛЬ ПРОЕКТА	85
3	ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО В ЗАДАЧЕ СПЕКТРОСКОПИИ ЗВЕЗД	85
4	ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО С ОТКРЫТЫМ ВХОДОМ	88
6	ПРОГРАММА РЕДУКЦИИ ДАННЫХ	62
7	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63

ТЕМА ПРОЕКТА: Повышение спектрального разрешения УНУ БТА с помощью интерференционно-дифракционного спектрографа.

ЦЕЛЬ ПРОЕКТА: Достижение сверхвысокого спектрального разрешения на УНУ БТА с помощью интерференционно-дифракционного спектрографа с применением интерферометра Фабри-Перо, работающего с открытым входом.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО В ЗАДАЧЕ СПЕКТРОСКОПИИ ЗВЕЗД

Применение интерферометров Фабри-Перо (далее ИФП) в лабораторной спектроскопии и в астрофизике имеет существенные различия. Если в лабораторной спектроскопии ИФП использовался в высоких порядках интерференции, главным образом, для уточнения длин волн линий различных элементов и ионов, то в астрофизике - для измерения движений в протяженных объектах относительно низкой яркости (галактики и туманности), в порядках интерференции $m \sim 200 \div 500$. Ниже рассмотрим, что может дать использование ИФП при спектроскопии звезд на БТА.

Интерферометр Фабри-Перо на внешней установке.

Интерферометр на внешней установке был испытан на БТА со спектрографами ОЗСП, LYNX [1] и НЭС, в двух последних случаях можно говорить о методе дважды скрещенной дисперсии, см. [2]. Внешняя установка ИФП перед спектрографом состоит из слабой отрицательной линзы, формирующей параллельный пучок, стабилизированной по давлению камеры с ИФП, и слабой положительной линзы, строящей изображение звезды на входе в спектрограф. При указанных параметрах ИФП и входа выполняется условие работы ИФП в центральном пятне. На рис.Б.1, см. также [3], приведен пример изображения спектра звезды, полученного в одном из экспериментов. Обработка фотометрических разрезов эшелюного спектра, зарегистрированного через перестраиваемый ИФП, состоит в: идентификации номеров m ; определении интенсивностей, зарегистрированных в каждом из порядков ИФП; относительной нормировке этих интенсивностей между всеми экспозициями данного объекта; построении каждого из эшелюных порядков с разрешением, определяемым параметрами ИФП.

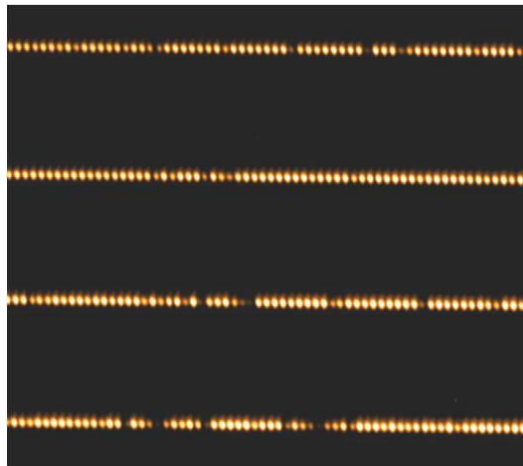
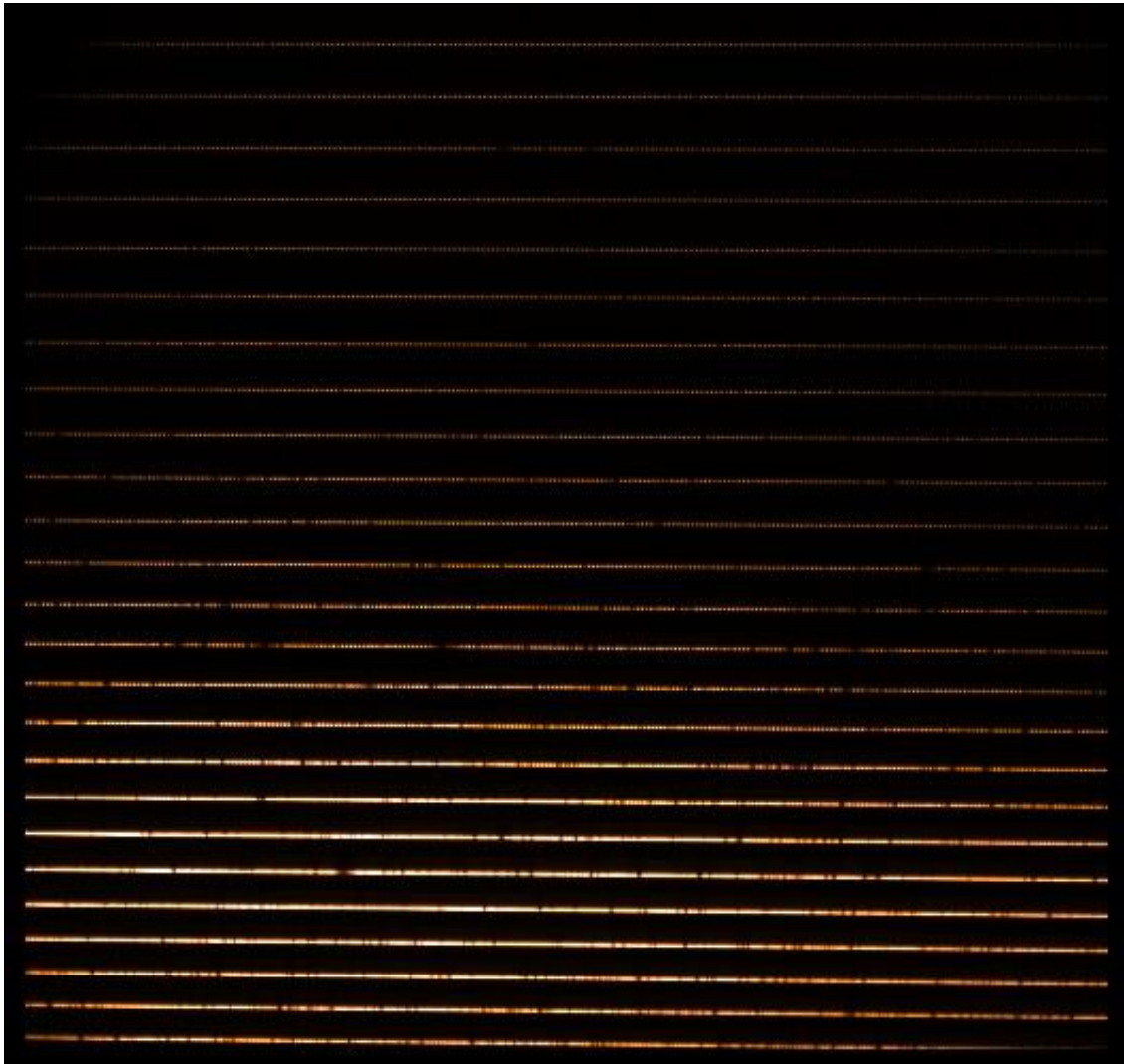


Рисунок Б.1 - Изображение форматом 2048x2048 элементов (а) и небольшой фрагмент изображения (б) спектра звезды, полученного на 6-метровом телескопе, с использованием эшелле спектрографа НЭС с ИФП на внешней установке. Яркие точки соответствуют потокам, прошедшим через ИФП от участков непрерывного спектра, слабые точки – от участков, находящихся на профилях абсорбционных линий. Первая реализация метода сверхвысокого спектрального разрешения на БГА.

Интерферометр Фабри-Перо на внутренней установке.

Из теории следует, что при равном спектральном разрешении R и сравнимых геометрических размерах приборов светосила дифракционных спектрометров на порядок превосходит светосилу призмных спектрометров, а светосила ИФП более чем на порядок превышает светосилу дифракционного прибора. Это, в частности, означает, что при работе с ИФП нет особого смысла сочетать гигантские дифракционные спектрографы типа НЭС. Основным спектральным устройством является ИФП, а дифракционный спектрограф является лишь средством пространственного разведения порядков ИФП, поэтому параметры дифракционного спектрографа могут быть более скромными.

Поэтому нами был изготовлен макет оптоволоконного эшелле-спектрографа с ИФП на внутренней установке (рис.Б.2, см. также [3]). Такая схема хороша тем, что не содержит оптических элементов, формирующих пучки до входа в спектрограф (ИФП помещается в коллимированном пучке, т.е., внутри спектрографа).

Параметры макета следующие: линзовый коллиматор $F_{\text{coll}}=130\text{мм}$, $D_{\text{coll}}=34\text{ мм}$; ИФП, рабочий диаметр $D=30\text{мм}$; эшелле R2 75штр/мм, заштрихованная область $30\times 60\text{мм}^2$; дифракционная решетка 300 штр/мм, заштрихованная область $40\times 40\text{мм}^2$, линзовая камера $F_{\text{cam}}=200\text{мм}$, $D_{\text{cam}}=50\text{мм}$. После замены узла скрещенной дисперсии (решетка вместо призмы), прибор стал еще компактнее и может полностью поместиться в объем, стабилизированный по температуре и давлению. Сканирование спектра осуществляется небольшими наклонами ИФП относительно оси коллимированного пучка.



Рис.Б.2 - Макет эшелле-спектрографа с интерферометром на внутренней установке. Обозначения: 1 - оптоволоконный вход, 2 - линзовый коллиматор, 3 - интерферометр, 4 - решетка эшелле, 5 - призма скрещенной дисперсии, 6 – линзовая камера, 7 – светоприемник.

Понятно, что применение ИФП связано как с потерями в проникающей способности (за счет увеличения R), так и с потерями за счет скважности регистрации спектра. Выигрыш здесь один – в светосиле, за счет использования практически всего изображения звезды, построенного большим телескопом. Но в случаях, когда необходимо реализовать высокое значение R , недоступное другим приборам БГА, (например, при спектроскопии околозвездных оболочек, [4]), на потери следует решиться.

ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО С ОТКРЫТЫМ ВХОДОМ

В изложенных выше схемах используется центральное пятно концентрической интерференционной картины равного наклона (наблюдаемой от протяженного источника). Так как угловые размеры изображения звезды согласованы с размером центрального пятна, интерференционные кольца не наблюдаются. Способ увеличения освещенности в кольцах предложен и реализован в [15], где в передней пластине ИФП оставлено небольшое круглое отверстие, свободное от отражающего покрытия. Развитие нового способа приведено в [16], где сделан вывод, что при некоторых условиях наблюдений, ИФП со свободным отверстием дает значительное увеличение освещенности колец.

Сотрудник ГАО РАН Е.С.Кулагин рассмотрел задачу смещения фронта при наклонном падении на ИФП, рис.Б.3.

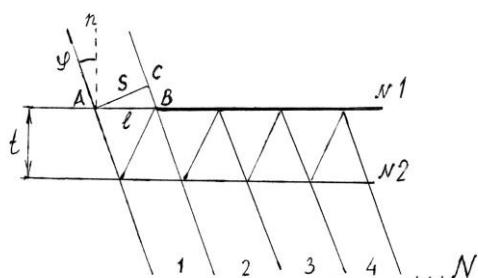


Рисунок Б.3 - Смещение фронта при наклонном падении на пластины ИФП. Обозначения:

№1 и №2 — рабочие поверхности пластин, n — нормаль к пластинам, t — воздушный промежуток, AC — часть плоского фронта, падающего на ИФП под углом φ к нормали, l — смещение луча по поверхности после каждого двойного отражения, S — смещение луча вдоль падающего волнового фронта.

На рис.Б.3 схематически показаны пластины ИФП, работающие при наклонном падении. Первая пластина имеет отражающее покрытие правее точки В. Лучи, падающие

левее точки А, после отражения от пластины №2, не попадут на отражающий слой пластины №1 и выйдут из интерферометра. Лучи, падающие правее точки В, сразу отразятся от пластины №1 и не войдут в интерферометр. Можно сказать, что окном для открытого входа лучей является участок поверхности первой пластины №1, $AB=l$. В него свободно входит участок падающего волнового фронта $AC=S$. Замечательным свойством такого окна, вытекающим из его определения, является то, что окно меняет свою ширину с изменением угла φ . В результате на выходе, при любом угле падения φ , наблюдается сплошной волновой фронт, без зазоров и наложений, составленный из многих выходящих фронтов. Это позволяет выбирать участок спектра, регистрируемый со сверхвысоким разрешением.

Для наблюдений поверхности Солнца со сверхвысоким разрешением в [17] был предложен метод наблюдения одинаковой фазы интерференции в ИФП в широкой области спектра одновременно. Основу метода составляет выравнивание угловых дисперсий дифракционной решетки и ИФП. При выравнивании дисперсий не имеет значения, используется ли классический ИФП или его модификация с открытым входом. Точное выравнивание угловых дисперсий обеспечивается в случае, когда решетка используется при нормальном падении коллимированного пучка, а интерферометр установлен перпендикулярно плоскости решетки (Рис.Б.4).

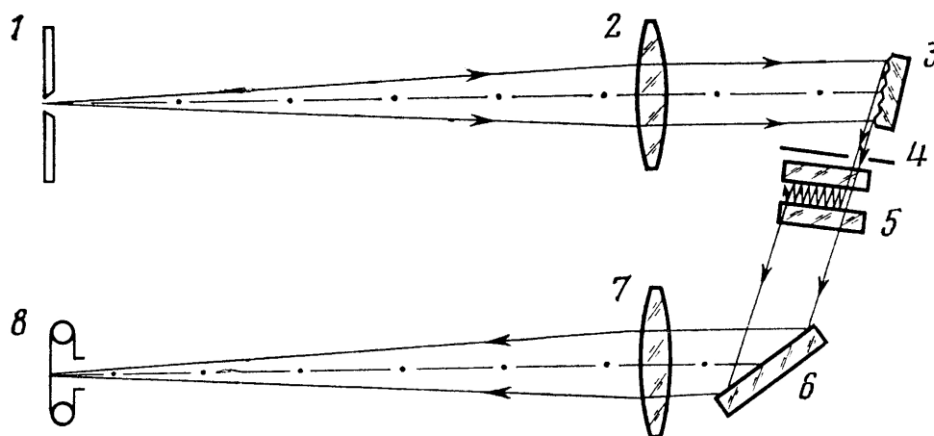


Рисунок Б.4 - Схема солнечного интерференционного спектрографа. Обозначения: 1 – щель, 2 – объектив коллиматора, 3 – дифракционная решетка, 4 – ИФП, 5 – ИФП, 6 – плоское зеркало, 7 – объектив камеры, 8 – приемник излучения

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ НА БТА

При реализации метода на БТА необходимо принять меры для снижения потерь света на входе системы, имеющей широкощельность l . Кроме того, будет изменена компоновка элементов (отказ от плоского зеркала 6). Отметим некоторые конструктивные детали.

Диафрагма 4 крепится к оправе эталона, к его передней по ходу лучей плоскости. Она делается в двух сменных экземплярах. Обе имеют прямоугольную форму. Первая диафрагма имеет прямоугольное “окно” 47х5мм, а вторая имеет такие же размеры, но с закрытой центральной прямоугольной частью высотой 18мм. В этом случае экранируются криволинейные границы вторичного зеркала телескопа и инструментальный контур спектрографа должен быть лучше. Диафрагма 4 пропускает узкий волновой фронт, входящий от решетки 3 в открытое окно эталона 5, и устраняет лишнюю засветку эталона.

Эталон Фабри-Перо 5 в оправе устанавливается так, что плоскости его пластин расположены перпендикулярно к плоскости решетки. Для попадания нужного участка спектра в открытое окно эталона, эталон 5 вместе с оправой и диафрагмой 4 должен иметь возможность:

а) параллельного перемещения от расчетного положения в диапазоне ± 5 мм по плите узла дисперсии вдоль плоскости своих пластин для точного попадания требуемого участка спектра в открытое окно эталона;

б) вращения вокруг вертикальной оси на $\pm 10^\circ$ относительно среднего положения. В расчетном положении ось вращения должна совпадать с резкой границей отражающего покрытия на первой по ходу лучей пластине эталона с точностью 1мм. Этот разворот необходим для точного выравнивания угловых дисперсий решетки и эталона.

Обеспечивая описанные возможности перемещения и вращения, эталон 5 устанавливается на минимальном расстоянии от решетки 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная и внедренная методика позволяет начать на спектрографе НЭС УНУ БТА SCORPIO-2 пробные наблюдения в режиме сверхвысокой спектроскопии на базе сканирующего ИФП. Тесты подтвердили соответствие расчетных и результирующих параметров прибора по спектральному разрешению и пропусканию системы.

Литература

- 1) В.Е.Панчук, В.Г.Клочкова, И.Д.Найденов, Э.А.Витриченко, Н.А.Викульев. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. IV. Светосильный эшелле-спектрограф РЫСЬ. Препринт САО №139, 1999, с.1-15.
- 2) В.Е.Панчук. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. V. Метод дважды скрещенной дисперсии. Препринт САО №144, 2000, с.1-19.
- 3) В.Е.Панчук, В.Г.Клочкова, М.Е.Сачков, М.В.Юшкин. Доплеровские методы поиска и мониторинга экзопланет. *Астрономический вестник*, 2015, т.49, №6, с.1-10.
- 4) V.G.Klochkova. Circumstellar envelope manifestations in the optical spectra of evolved stars. *Astrophysical Bulletin* 2014, v.69, issue 3, pp.279-295.
- 5) Меркулов А.В. Некоторые новые модификации интерферометра Фабри-Перо и их астрофизические приложения. *Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове*. 1960. Т.21. В.4. №163. С.35-69.
- 6) Нагибина И.М., Королев А.Н. Эталон Фабри-Перо с малым прозрачным отверстием и исследование его некоторых характеристик. *Оптика и спектроскопия*. 1963. Т.15. В.3. С.421-423.
- 7) Кулагин Е.С. Интерференционный солнечный спектрограф. *Астрономический журнал*. 1980. Т.57. В.1. С.200-210.

УТВЕРЖДАЮ _____

Вр.и.о. директора САО РАН
член-корр. РАН Балегга Ю.Ю.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

методики спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением
интерференционно-дифракционного спектрографа УНУ БТА

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

Власюк В.В. – заместитель директора по научной работе, председатель
Панчук В.Е. – гл.н.с. лаборатории астроспектроскопии,
Клочкова В.Г. – зав.лаб. астроспектроскопии,
Юшкин М.В. – с.н.с. лаборатории астроспектроскопии,

составили настоящий акт о нижеследующем.

Комиссии были предоставлены материалы по методике спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением интерференционно-дифракционного спектрографа УНУ БТА, включающие рабочую документацию, описания и результаты испытаний на телескопе.

Рассмотрев предоставленные материалы и ознакомившись с инструментальной реализацией методики, комиссия пришла к заключению о том, что характеристики разработанной методики соответствуют лучшим мировым образцам и обладают реальной конкурентоспособностью. Комиссия считает, что созданная методика может считаться внедренной в практику астрофизических исследований на УНУ БТА и должна быть рекомендована к использованию в ходе плановых наблюдений.

Председатель комиссии

Власюк В.В.

Члены комиссии

Панчук В.Е.

Клочкова В.Г.

Юшкин М.В.