

УДК 520.362-355

ВТОРИЧНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ НА ОСНОВЕ ЭТАЛОНА ФАБРИ-ПЕРО

© 2011 Г. А. Чунтонов

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 21 марта 2011 г.; принята в печать 29 марта 2011 г.

Рассматривается возможность использования эталона Фабри-Перо в качестве источника спектра сравнения для калибровки длин волн в спектрах астрономических объектов. Для низкой дисперсии эталон Фабри-Перо был изготовлен в виде трехслойной структуры путем напыления в вакууме на подложке из стекла: сначала тонкого полупрозрачного слоя алюминия, потом слоя стекла толщиной в несколько мкм и сверху снова полупрозрачного слоя алюминия. Для высокой дисперсии эталон Фабри-Перо был изготовлен из слюды толщиной в несколько десятков мкм, на поверхность которой были нанесены полупрозрачные покрытия из алюминия. Во втором случае плотность пиков пропускания превосходит плотность интенсивных линий спектра тория в несколько десятков раз.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений, приборы и инструменты*

1. ВВЕДЕНИЕ

Спектр сравнения служит для калибровки звездных спектров по длинам волн. Он может представлять собой спектр Солнца, Проциона, Веги и других звезд с достаточно большим числом узких спектральных линий. Еще используются линии поглощения земной атмосферы или йодная ячейка в красной области спектра. Применяются также лабораторные источники света, дающие как небольшое число эмиссионных линий в спектре, так и плотно заполняющие оптический диапазон. При этом могут использоваться как линии отдельных элементов, так и смесей из них. В 70-е годы популярным был спектр железа. Некоторое время он устраивал исследователей, потому что измерения проводились в основном в синей области, где была наибольшая чувствительность фотоэмульсий, применяемых для регистрации спектров и где наибольшая плотность линий железа. На смену им пришли лампы с полым катодом из тория, заполненные смесью инертных газов (см., например, [1]). Недостатком всех источников линейчатого спектра является неравномерность заполнения спектральными линиями рабочего диапазона, а также большой разброс их по интенсивности. Эталон Фабри-Перо (ФП) может оказаться удобным инструментом для создания спектра сравнения. При пропускании света непрерывного спектра через эталон ФП формируется серия регулярных пиков пропускания по длинам волн. Определив положения этих пиков по спектрам металлов, эталон ФП может использоваться как вторичный спектральный стандарт, у которого пики пропускания равномерно распределены по спектру и незначительно отличаются по

интенсивности. В качестве спектрального прибора для изучения звезд перестраиваемый эталон ФП не используется в астрономии с 1970-х годов. Причина заключается в низкой эффективности эталона, пропускающего всего несколько процентов падающего на него света. Большая часть света отражается эталоном назад.

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭТАЛОНА ФП

Эталон ФП обсуждался, например, в монографиях [2–5]. Основное его уравнение имеет вид:

$$k\lambda = 2tnc\cos\varphi, \quad (1)$$

где k — порядок интерференции, λ — длина волны, t — толщина промежутка эталона, n — показатель преломления вещества, заполняющего промежуток эталона, φ — угол падения света на эталон ФП.

Сделаем две оценки применимости эталона: по температуре и точности установки по углу, следуя работе [2]. Продифференцируем (1) по t :

$$k\delta\lambda = 2nc\cos\varphi\delta t \quad (2)$$

Поделим левые и правые части (2) на (1), получим:

$$\delta\lambda/\lambda = \delta t/t \quad (3).$$

Характерное значение $\delta t/t \simeq 10^{-6}$ у материала для промежутка эталона, так что при стабилизации температуры на уровне 0.1° для длины волны 5000 \AA получим $\delta\lambda \simeq 0.005 \text{ \AA}$, что точнее задания длин волн в атласе тория [6]. Оценим необходимую

точность установки эталона по углу. Продифференцируем (1) по углу φ :

$$k\delta\lambda = -2t n \sin\varphi \delta\varphi \quad (4)$$

и поделим на уравнение (1):

$$\delta\lambda/\lambda = -tg\varphi\delta\varphi \quad (5)$$

Для малых углов $tg\varphi$ можно заменить на φ , получим:

$$\delta\lambda/\lambda = -\varphi\delta\varphi \quad (6)$$

Реально большого труда не составит устанавливать эталон по углу с точностью 0.1° , т.е. $\varphi = \delta\varphi = 0.0017$ радиан. Тогда из (6) получим: $\delta\lambda/\lambda = 3 \times 10^{-6}$. Это сравнимо с величиной нестабильности при изменении температуры. Итак, точность положений пиков пропускания эталона ФП при разумных допущениях не хуже точности положений линий в атласе тория [6].

3. ЭТАЛОН ФАБРИ-ПЕРО С НАПЫЛЕННЫМ РАЗДЕЛИТЕЛЕМ ЗЕРКАЛ

Эталон ФП с малым промежутком был изготовлен путем вакуумного напыления частично прозрачного с коэффициентом пропускания около 20% алюминиевого слоя на подложку из стекла с последующим напылением на него стекла и на этот слой стекла опять был напылен частично прозрачный слой алюминия тоже с коэффициентом пропускания 20%. На Рис. 1 изображена зависимость коэффициента пропускания этого эталона ФП в процентах от длины волны в нм, полученная путем измерений на лабораторном спектрометре. Принимая показатель преломления стекла $n = 1.5$, определим размер промежутка t по формуле:

$$t = \lambda^2 / 2n\Delta\lambda \quad (7),$$

где $\Delta\lambda$ — расстояние между максимумами пропускания. Взяв по Рис. 1 среднее значение длины волны $\lambda = 6250 \text{ \AA}$ и расстояние между соседними максимумами 400 \AA , получим, что величина стеклянного промежутка составляет 3 мкм.

4. ЭТАЛОН ФАБРИ-ПЕРО С ПРОМЕЖУТКОМ ИЗ СЛЮДЫ

Слюда хорошо расщепляется по плоскостям спайности, обеспечивая очень высокую плоскопараллельность слоев. Характерные толщины оптической слюды составляют несколько десятков мкм. Тонкие слои алюминия, обеспечивающие пропускание одного слоя около 20%, были нанесены на поверхность слюды, толщина которой составила около 70 мкм. Эта пластинка была установлена вблизи щели Основного звездного спектрографа БТА в сходящемся пучке света, поступающем от

галогенной лампы по схеме искусственной звезды. Чтобы устранить проявление двулучепреломления слюды, в пучок вставлялся пленочный поляризатор. Спектр регистрировался с помощью ПЗС $2K \times 2K$ и системы DINA, созданных в Лаборатории перспективных разработок САО. Редукция данных проводилась в MIDAS. На Рис. 2 изображена зависимость пропускания эталона ФП со слюдяным промежутком в произвольных единицах с изменением длины волны в ангстремах и наложенный на нее спектр тория. Из рисунка видно, что плотность пиков эталона превосходит плотность интенсивных линий тория в несколько десятков раз.

5. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ПИКОВ ПРОПУСКАНИЯ ЭТАЛОНА ФП

В выражении (6) положим $\varphi = \delta\varphi = 1/206265$, т.е. качеству изображения, равному 1 угловой секунде. Тогда на длине волны 5000 \AA $\delta\lambda = 10^{-7} \text{ \AA}$. При типичном числе эффективно интерферирующих лучей $N_{eff} = 20$ расстояние между максимумами пропускания составит $2 \times 10^{-6} \text{ \AA}$. Если плотность линий для слюдяного эталона ФП была в 20–30 раз выше, чем для спектра тория, то плотность пиков пропускания в этом случае была бы в 5×10^6 раз больше. Это соответствовало бы промежутку эталона из слюды 30 см. Создание таких больших плоскопараллельных промежутков сопряжено с большими трудностями. Проще перейти к эталону с воздушным промежутком. Но выше было показано, что ограничения наступают раньше из-за требований высокой термостабилизации и высокой точности установки эталона по углу.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В атласах спектров тория (см., например, [6]) приводятся значения длин волн в ангстремах с точностью до 2-го знака после запятой, а в расчетной системе The Vienna Atomic Line Database (VALD) положения линий химических элементов — до 4-го знака после запятой. Приведенные оценки показывают, что путем стабилизации промежутка эталона по температуре с точностью 0.1° и установки по углу с точностью 0.1° можно обеспечить точность положения пиков пропускания эталона в сотые доли ангстрем. Сравнение спектров ФП и тория показывает, что плотность пиков пропускания ФП может превосходить плотность линий тория в несколько десятков раз. Положение пиков пропускания задается формулой (1), так что, определив положение на спектре двух пиков пропускания, можно вычислить положение остальных пиков. В качестве источника непрерывного спектра для эталона можно использовать звезды с широкими спектральными линиями. Этим эталон похож на йодную ячейку. Пропускание созданных эталонов ФП составляет

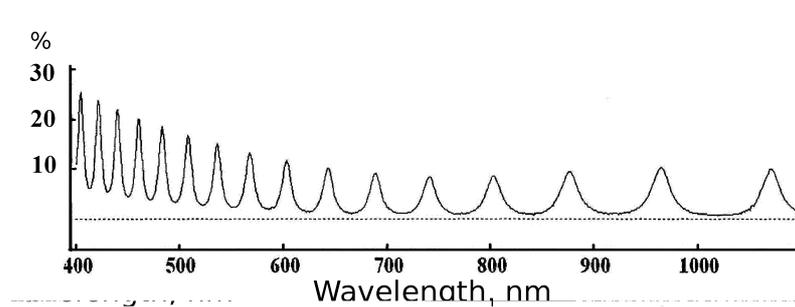


Рис. 1. Зависимость пропускания эталона ФП с напыленным промежуток из стекла в процентах от длины волны в нм.

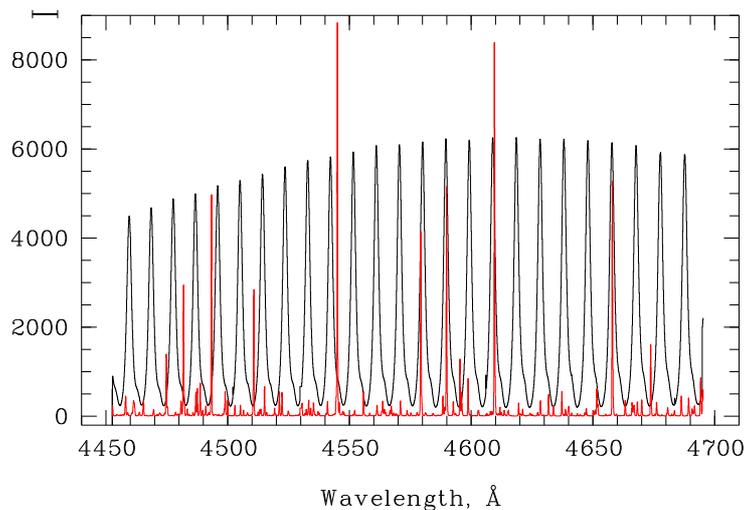


Рис. 2. Зависимость пропускания в произвольных единицах слюдяного эталона с длиной волны в ангстремах и наложенный на нее спектр тория.

около 10%. Его можно повысить в несколько раз, если изготовить отражающие покрытия из многослойных диэлектриков с малыми коэффициентами поглощения. При этом пики пропускания сужаются. Источник непрерывного спектра может быть ярким и с большим ресурсом в отличие от ламп полого катода. Форма пиков пропускания эталона ФП описывается функцией Эри, что отчетливо видно на Рис. 1. Тем не менее, процедуры в MIDAS позволяют определять их положение по центру тяжести. Автор благодарит Сапельникова И. за напыление стекла и отражающих покрытий.

3. С. Толанский, *Спектроскопия высокой разрешающей силы* (ИЛ, Москва, 1955).
4. И. В. Скоков, *Многолучевые интерферометры* (Машиностроение, Москва, 1969).
5. А. Н. Зайдель, Г. В. Островская и Ю. И. Островский, *Техника и практика спектроскопии* (Наука, Москва, 1972).
6. S. D'Odorico et al., ESO Scientific Report, No. 2 (1984).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Н. Буренков, Н. Ф. Войханская и В. С. Рылов, *Астрофиз. Исследования (Известия САО)*, 11, 70 (1979).
2. Ф. А. Королев, *Спектроскопия высокой разрешающей силы* (Гостехиздат, Москва, 1953).

SECONDARY SPECTRAL STANDARDS BASED ON FABRY-PEROT ETALON**G.A. Chountonov**

We discuss the possibility of using a Fabry-Perot interferometer as a source of the comparison spectrum for calibrating the wavelengths in the spectra of astronomical objects. For low dispersion, a Fabry-Perot etalon has been made in the form of a three-layer structure by sputtering a glass substrate in vacuum in the following order: firstly, a thin translucent layer of aluminum, then a layer of several micron-thick glass, and another layer of semitransparent aluminum. For high dispersion, a Fabry-Perot etalon has been made of mica several tens of microns thick, the surface of which was sputtered with translucent coatings of aluminum. In the second case, the density of transmission peaks is higher than the density of intense spectral lines of thorium by a few dozen times.

Key words: *instrumentation: interferometers—instrumentation: spectrographs*