

УДК 535.241.3

Исследование образцовых средств измерений спектральной плотности энергетической яркости

Ю. Б. Матвеев

Исследованы поля яркости ленточных вольфрамовых ламп типов ТРУ 1100-2350 и СИРШ 8.5-200-1. На основании распределения яркости по ленте оценивается погрешность передачи единиц энергетической яркости от образцового к исследуемому источнику в интервале длин волн 300—1200 нм.

INVESTIGATION OF THE MODEL SOURCES OF SPECTRAL DENSITY OF ENERGETIC BRIGHTNESS, by Matveev Yu. B. — The brightness fields of ribbon tungsten lamps of ТРУ 1100-2350 and СИРШ 8.5-200-1 types are investigated. On the basis of brightness distribution along the ribbon the error of transfer of brightness energy units from model source to the one under investigation is estimated for the wavelength interval 300—1200 nm.

При исследовании абсолютного распределения энергии в спектре Солнца в качестве образцовых средств измерений (ОСИ) спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) используются ленточные вольфрамовые лампы ТРУ 1100-2350 и СИРШ 8.5-200-1. Государственный стандарт [2] устанавливает пределы допускаемых относительных погрешностей ОСИ СПЭЯ. Погрешность «абсолютной привязки» солнечного спектра определяется погрешностями ОСИ и погрешностями передачи единиц СПЭЯ от ОСИ к исследуемому источнику. Цель данной работы — оценить погрешность передачи единиц СПЭЯ, возникающую вследствие ошибок установки ленточной вольфрамовой лампы. При этом имеются в виду ошибки установки плоскости ленты относительно оптической оси и ошибки установки изображения ленты на входной щели спектрографа по двум координатам.

Имеются указания [1, 3] на то, что для ленточных вольфрамовых ламп градиент температурного поля ленты в районе калиброванного участка (так называемого индекса) может достигать нескольких градусов на 1 мм и варьируется в широких пределах для различных экземпляров ламп. Это обстоятельство должно приводить к увеличению погрешности передачи единиц СПЭЯ, в связи с чем возникает необходимость исследования температурных или яркостных полей каждой из ламп. Кроме того, при построении изображения ленты лампы в реальной установке величина аберраций, в частности астигматизма, может быть значительной. В результате на входной щели спектрографа изображение «размазывается», что может потребовать учета этого эффекта на основе реального распределения яркости. И наконец, необходимо предварительно исследовать зависимость наблюдаемой яркости ламп от направления визирувания.

Измерения проводились на специализированном солнечном телескопе СЭФ-1, установленном на ВНБ «Терскол» ГАО АН УССР. Это классический горизонтальный солнечный телескоп ($D=25$ см, $F=3$ м), установленный совместно с дифракционным спектрографом (вертикальная компоновка схемы Эберта). Приемник излучения — ФЭУ-79. В качестве коллиматора лампы использовалось сферическое зеркало ($F=2$ м). Параллельный пучок от коллиматора направлялся на главное зеркало телескопа, которое и строило изображение ленты на щели спектрографа. Сканирование изображения ленты по щели достигалось вращением коллиматора вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

В нашем распоряжении было три экземпляра СИРШ 8.5-200-1 № 165, 190, 225 и одна лампа ТРУ 1100-2350 № 293. Лампы исследовались в рабочих режимах. Для ламп СИРШ истинная температура лен-

ты в районе индекса совпадала для всех трех экземпляров с точностью до нескольких градусов и составляла около 2500°C , для лампы ТРУ температура несколько ниже — около 2200°C . Температура рассчитана в приближении Вина с учетом излучательной способности вольфрама.

Распределение яркости вдоль ленты для $\lambda=600$ нм приведено на рис. 1. Здесь B_0 — яркость ленты на уровне индекса каждой из

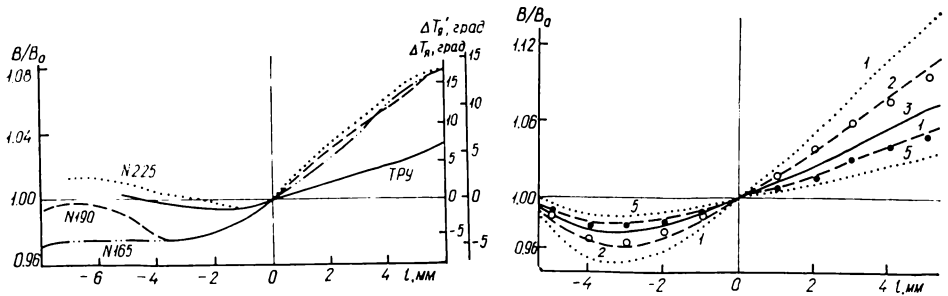


Рис. 1. Распределение яркости и температуры вдоль ленты. ΔT_{ϕ} — температурная шкала для ламп СИРШ; $\Delta T_{\text{я}}$ — температурная шкала для лампы ТРУ; $\lambda=600$ нм

Рис. 2. Распределение яркости вдоль ленты для лампы СИРШ № 190. λ , нм: 1 — 300, 2 — 400, 3 — 600, 4 — 800, 5 — 1200; точки — результаты измерений для $\lambda=800$ нм, кружки — для 400 нм; 1, 2, 4, 5 получены с помощью соотношения [2], 3 — исходное распределение яркости

ламп. Форма распределения для трех ламп СИРШ типична, отличия в основном объясняются разным положением индекса, которое для различных ламп конструктивно действительно отличается в пределах 1—2 мм. Для лампы ТРУ градиент яркости существенно ниже, что можно объяснить большой длиной ленты (порядка 40 мм, в случае СИРШ — около 20 мм). Справа на рис. 1 воспроизведена шкала яркостных температур отдельно для различных типов ламп. Разный масштаб — следствие разных температур.

По абсолютной величине температурный градиент ламп СИРШ для исследованной температуры хорошо совпадает с результатами работ [1, 3], хотя в первой из них исследовалась лампа СИ-16 (в настоящее время не применяется), а во второй — лампа СИ-10-300 — широко используемая в качестве вторичных стандартов температуры и энергетической яркости. В последнем случае исследовались лампы при температурах до 1400°C .

Представляет интерес расчет распределений яркости для широкого диапазона длин волн. При этом наблюдения в одной из длин волн (например, 600 нм) и определяемое распределение температуры принимаются нами за основу. Дифференцируя формулу Вина, можно получить известную формулу

$$\frac{dB}{B} = \frac{c_2}{\lambda T} \cdot \frac{dT}{T}, \quad (1)$$

где c_2 — вторая радиационная постоянная; T — истинная температура ленты. Отсюда

$$\frac{dB_{\lambda_1}}{B_{0\lambda_1}} : \frac{dB_{\lambda_0}}{B_{0\lambda_0}} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}. \quad (2)$$

Таким образом, отношение градиентов яркости в двух длинах волн в относительной шкале равно обратному отношению длин волн. При переходе от 600 нм в сторону коротких длин волн градиент яркости увеличивается, в сторону длинных волн — падает. Для одной из ламп (СИРШ № 190) исследовалось распределение яркости в трех длинах волн (рис. 2). В пределах точности отдельных измерений экспериментальные данные соответствуют результатам вычислений.

Распределения яркости по ширине лент на уровне индекса в пределах ± 0.6 мм даны на рис. 3. Они хорошо представляются параболической функцией $y = ax^2 + bx + 100$. В таблице приведены коэффициенты сглаживания a , b и средняя квадратичная ошибка сглаживания Δ .

Ошибка наведения изображения ленты на щель спектрографа в вертикальном направлении без дополнительных оптических приспособлений не превышает 0.5 мм. С учетом того, что размер изображения

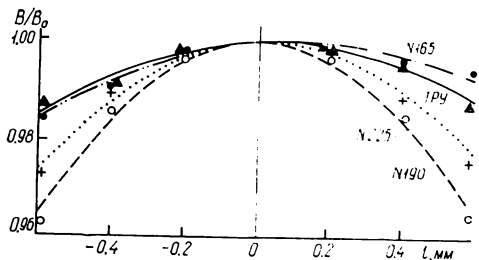


Рис. 3. Распределение яркости по ширине ленты, $\lambda = 600$ нм

Коэффициенты параболического сглаживания и средняя квадратичная ошибка горизонтального распределения

Тип и номер лампы	a	b	Δ
СИРШ № 165	-3.0	0.77	0.09
СИРШ № 190	-9.7	0.13	0.10
СИРШ № 225	-6.7	0.38	0.23
ТРУ № 293	-3.6	0.36	0.08

ленты определяется соотношением фокусных расстояний коллиматорного и главного зеркал (в нашем случае изображение увеличено в 1.5 раза), для различных ламп погрешность составляет 0.15—0.5 % для λ 600 нм и возрастает не более, чем в два раза в ближней УФ-области.

Точность наведения в горизонтальном направлении выше вследствие хорошей способности глаза различать несимметричность изображения. В этом случае ошибка не превышает 0.3 %. Следует отметить, что из-за значительной нелинейности распределения яркости вблизи индекса недопустимо изменение высоты входной щели спектрографа, которая должна соответствовать высоте изображения калиброванного участка. В нашем случае с учетом увеличения изображения высота щели составляет 3 мм. Влияние же аберраций не превышает ошибок наблюдений, если углы падения на сферические зеркала оптической схемы — не более 5° . Это условие не является жестким.

Для лампы СИРШ № 190 определены отклонения от закона Ламберта. Для этой цели лампа вращалась вокруг вертикальной оси, запись сигнала велась для $\lambda = 600$ нм в трех фиксированных положениях: При углах поворота — 10,0, 10 град величина сигнала составляла 99.0, 100.0, 99.9 % соответственно. Точность установки 3° обеспечивает нам точность 0.3 % воспроизведения СПЭЯ.

Таким образом, суммарная погрешность передачи единиц СПЭЯ, возникающая вследствие ошибок установки ламп, не превышает 0.7 % в видимой области и несколько больше 1 % в ближней УФ-области. Точность можно повысить путем усовершенствования приемов установки и тщательного отбора ламп. Но это представляется нецелесообразным, поскольку основным ограничением точности абсолютной привязки солнечного спектра являются пределы погрешности образцовых средств измерений, которые составляют 2.5—3.5 % в видимой области и возрастают в УФ-области. При соблюдении приведенной нами точности установки погрешность передачи на фоне погрешности образцовых средств измерений может не учитываться.

1. Боярский Л. А., Стрелков П. Г. О воспроизводимости положения температурной лампы на оси пирометра // Измерительная техника.— 1965.— № 8.— С. 15—17.
2. ГОСТ 8.196-81. Государственный первичный эталон.— Введ. 01.01.82.
3. Ситник Г. Ф. Некоторые свойства ленточной лампы СИ-16 как эталона лучистой энергии // Астрон. журн.— 1959.— 36, № 2.— С. 375—377.