

ПРИМЕНЕНИЕ ДВОЙНОЙ АПЕРТУРЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЕКТРОФОТОМЕТРОВ

В. М. Белоусов¹, Н. М. Выродова²

РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», Астана, Казахстан

Аннотация

Фотометрическая точность спектрофотометров ограничена погрешностями нелинейности. Обычно для установления таких системных ошибок используются калиброванные нейтральные светофильтры с различными уровнями пропускания, но расширенная неопределенность спектрального коэффициента направленного пропускания этих фильтров обычно составляет 0,003, и это больше, чем фотометрическая точность таких систем как Lambda 950 или Lambda 1050, что вносит существенный вклад в неопределенность при калибровке рабочих эталонов.

В случае использования современных прецизионных спектрофотометров, таких как Lambda 1050+, для получения наилучших результатов применим более точный метод, чем использование калиброванных светофильтров и это - метод двойной апертуры. Используя процедуру, описанную в этой статье, была получена точность определения коэффициента пропускания не более 0,002, в диапазоне длин волн UV/VIS/NIR от 200 нм до 2500 нм.

Ключевые слова: калибровка, неопределенность, коэффициент пропускания.

Принцип работы

Устройство двойной апертуры размещается в кюветное отделение спектрофотометра перпендикулярно световому потоку, как схематически показано на рисунке 1. Одна часть

луча проходит выше апертуры (a), а другая часть проходит ниже апертуры (b), и около 5% энергии луча блокируется тонкой перегородкой между двумя апертурами.

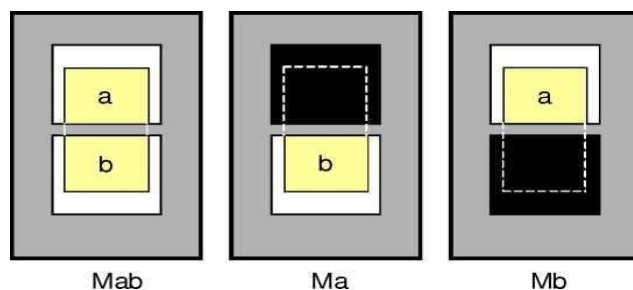


Рисунок 1 - Режимы измерений с помощью устройства двойной апертуры

В идеальном случае, оптический детектор с линейной характеристикой, который предоставляет показания “Ma” и “Mb” для соответствующих потоков излучения “a” и “b”, даст показания $M_{ab} = M_a + M_b$, когда некогерентно добавляются два потока “a” и “b” (обе апертуры открыты). Метод двойной апертуры основан на

принципе такого добавления.

В случае нелинейной работы детектора $M_{ab} \neq M_a + M_b$, это неравенство может быть использовано для количественной оценки ошибки нелинейности.

Так как ошибка нелинейности является системной, мы можем учитывать значение

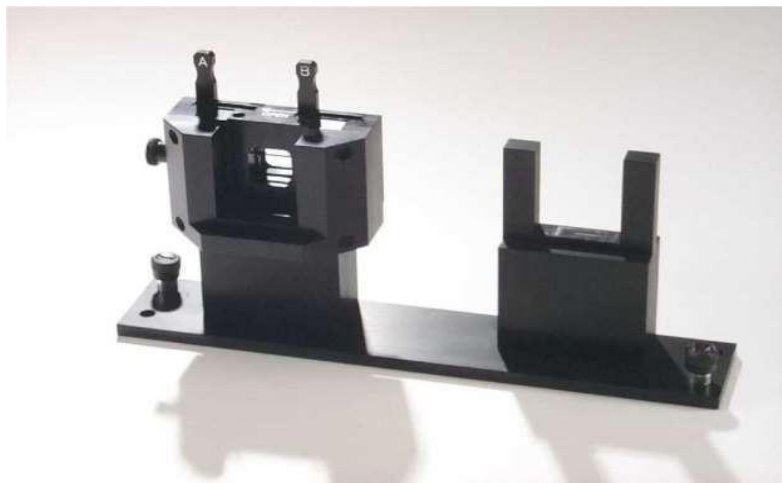


Рисунок 2 - Внешний вид устройства двойной апертуры

Процедура измерений

При определении нелинейности применялся предустановленный метод DA Precision method в программе UVWinlab Explorer.

Прецизионный метод выполняет групповые измерения спектрального коэффициента

направленного пропускания (СКНП), M_a , M_b , M_{ab} , шесть раз и два рассеянных D (нулевых) измерения. Измерения проводятся в соответствии с таблицей, приведенной на рисунке 3.

Расчет значения нелинейности проводится программой автоматически, по формуле 1

$$E = (M_{ab} - M_a - M_b + \langle D \rangle) / 2 \quad (1)$$

Sample ID	Sample Tag	Description	CBDep
1 Sample1	D	D(1)	On
2 Sample2	A	A(1)	On
3 Sample3	AB	AB(1)	On
4 Sample4	B	B(1)	On
5 Sample5	A	A(2)	On
6 Sample6	AB	AB(2)	On
7 Sample7	B	B(2)	On
8 Sample8	A	A(3)	On
9 Sample9	AB	AB(3)	On
10 Sample10	B	B(3)	On
11 Sample11	A	A(4)	On
12 Sample12	AB	AB(4)	On
13 Sample13	B	B(4)	On
14 Sample14	A	A(5)	On
15 Sample15	AB	AB(5)	On
16 Sample16	B	B(5)	On
17 Sample17	A	A(6)	On
18 Sample18	AB	AB(6)	On
19 Sample19	B	B(6)	On
20 Sample20	D	D(2)	On

Рисунок 3 – Порядок проведения измерений

Результаты

Пример выполненных измерений и расчета значения нелинейности, на длине волны 650 нм, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Номинальные значения СКНП светофильтров, %	Измеренные значения СКНП, %				Значение нелинейности, E, %
	Mab	Ma	Mb	D	
100	100,010	53,362	46,586	-0,016	0,077
90	93,119	49,847	43,171	-0,005	0,107
50	47,357	25,215	22,052	-0,001	0,091
10	9,823	5,20	4,591	0,000	0,032

Аналогичные измерения проведены для длин волн с интервалом 10 нм, значения которых равномерно расположены во всем спектральном диапазоне работы спектрофотометра.

Линейность детекторов спектрофотометра Lambda 1050+ оценивалась в диапазонах измерений от дальнего ультрафиолета до ближнего инфракрасного (без сетчатый ФЭУ от

200 до 860 нм; высокочувствительный широкополосный InGaAs более 860 до 1800 нм; полупроводниковый детектор PbS более 1800 до 2500 нм), в точках фотометрического диапазона СКНП 0,1; 0,5, 0.9 и 1,0.

Результаты определения линейности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Точки фотометрического диапазона, безразм. ед	Нелинейность детекторов спектрофотометра Lambda 1050+, безразм. ед		
	Спектральный диапазон в нм		
	от 200 до 860	более 860 до 1800	более 1800 до 2500
0,1	0,0004	0,0007	0,0008
0,5	0,0007	0,0011	0,0004
0,9	0,0014	0,0018	0,0003
1,0	0,0009	0,000	0,0020

Поскольку нелинейность носит систематический характер, она оценивается как составляющая неопределенности по типу В, что уменьшает вклад в неопределенность измерений от нелинейности детектора в сравнении с определением этого вклада методом калибровки с помощью нейтральных светофильтров.

Заключение

В данной работе изложен относительно простой метод, согласно которому вклад в неопределенность измерений СКНП спектрофотометром Lambda 1050+ уменьшена до уровня от 0,0004 до 0,0020 в зависимости от длины волны. Для фильтров нейтральной плотности, калиброванных на данном спектрофотометре, расширенная неопределенность калибровки составила от 0,0012 до 0,0025. Нейтральные фильтры применяются в качестве рабочих эталонов пропускания для калибровки или поверки рабочих спектрофотометров.

Список источников

1. van Nijnatten P. A. Calibration of neutral density glass filters to produce transmittance standards [Электронный ресурс] / P. A. van Nijnatten. – TNO Institute of Applied Physics, 1999. – Режим доступа: <https://omtsolutions.com/wp-content/uploads/2020/02/1999-proc-EGC-calibration-of-neutral-density-glass-filters-1.pdf>
2. Двойная апертура: руководство пользователя / OMT Solution BV. – 2010. – 24 с.

References

1. van Nijnatten P. A. Calibration of neutral density glass filters to produce transmittance standards [Electronic resource] / P. A. van Nijnatten. – TNO Institute of Applied Physics, 1999. – Mode of access: <https://omtsolutions.com/wp-content/uploads/2020/02/1999-proc-EGC-calibration-of-neutral-density-glass-filters-1.pdf> – Title from the screen.
2. OMT Solutions BV. Double Aperture: User Manual / OMT Solutions BV. – 2010. – 24 p.

В. М. Белоусов, Н. М. Выродова

«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Астана, Қазақстан

ПРЕЦИН СПЕКТРОФОТОМЕТРЛЕРІНІҢ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУДЕ ҚОС АПЕРТУРАНЫ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Спектрофотометрлердің фотометриялық дәлдігі сызықтық емес қателіктермен шектеледі.

Әдетте мұндай жүйелік қателіктерді анықтау үшін әртүрлі өткізу қабілеттілігі бар калибрленген бейтарап жарық сүзгілері қолданылады, бірақ бұл сүзгілердің спектрлік бағыттағы өткізу қабілеттілігінің кеңейтілген белгісіздігі әдетте 0,003 құрайды және бұл Lambda 950 немесе Lambda 1050 сияқты жүйелердің фотометриялық дәлдігінен үлкен, бұл жұмыс стандарттарын калибрлеу кезінде белгісіздікке айтарлықтай үлес қосады.

Lambda 1050+ сияқты заманауи дәл спектрофотометрлерді қолданған жағдайда, жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін калибрленген Жарық сүзгілерін қолданудан гөрі дәлірек әдіс қолданылады және бұл қос диафрагма әдісі. Осы мақалада сипатталған процедураны қолдана отырып, 200 нм-ден 2500 нм-ге дейінгі UV/VIS/NIR толқын ұзындығының диапазонында 0,002-ден аспайтын өткізу қабілеттілігін анықтау дәлдігі алынды.

Түйінді сөздер: калибрлеу, неопрелен, өткізу қабілеттілігі.

Beloousov V. M., Vyrodova N. M.

«Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology» RSE, Astana, Kazakhstan

APPLICATION OF DOUBLE APERTURE IN THE STUDY OF CHARACTERISTICS OF PRECISION SPECTROPHOTOMETERS

Abstract

The photometric accuracy of spectrophotometers is limited by non-linearity errors.

Usually, calibrated neutral filters with different transmission levels are used to detect such system errors, but the extended uncertainty of the spectral coefficient of directional transmission of these filters is usually 0.003, and this is more than the photometric accuracy of systems such as Lambda 950 or Lambda 1050, which significantly contributes to the uncertainty when calibrating working standards.

In the case of modern precision spectrophotometers, such as the Lambda 1050+, a more accurate method is used to obtain the best results than using calibrated filters, and this is the double aperture method. Using the procedure described in this article, an accuracy of determining the transmission coefficient of no more than 0.002 was obtained in the UV/VIS/NIR wavelength range from 200 nm to 2500 nm.

Keywords: calibration, unreliability, transmission coefficient.