



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Настройка и калибровка призматического спектрометра

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Призматические спектрометры используют для измерения оптических спектров разложение света на спектральные компоненты призмой. Для измерения длины волн систему следует откалибровать, т. к. угловая дисперсия носит нелинейный характер. В этом опыте для калибровки используется известный спектр ртутной (Hg) лампы, далее выполняются измерения с кадмиевой (Cd) лампой.

ТРЕБУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Количество	Наименование	№ по каталогу
1	Гониометр-спектрометр	U14416
1	Блок управления для спектральных ламп (230 В, 50/60 Гц)	U21905-230 или
	Блок управления для спектральных ламп (115 В, 50/60 Гц)	U21905-115
1	Ртутно-кадмиевая спектральная лампа	U8476875
1	Ртутная спектральная лампа 100	U8476870

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Призматические спектрометры используются для измерения оптических спектров на основании разложения света на спектральные компоненты при прохождении через призму. Разложение света происходит благодаря тому, что показатель преломления зависит от длины волны. В силу нелинейности призматический спектрометр для измерения длин волн следует откалибровать.

В спектрометре исследуемый свет проходит через щель S и попадает в объектив O₁. Эти два компонента образуют коллиматор и дают широкий, параллельный пучок света (см. рис. 1). После преломления на двух поверхностях призмы параллельный пучок выходит из призмы и фокусируется в изображение щели в фокусной плоскости объектива O₂. Затем его можно рассматривать через линзу ОС окуляра. Телескоп, образуемый объективом O₂ и окуляром ОС, прикреплен к шарнирному рычагу, который жестко соединен со шкалой верньера N.

Двойное преломление света призмой описывается углами α₁, α₂, β₁ и β₂ (см. рис. 2). Для равносторонней призмы справедливы следующие соотношения:

$$(1) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda) \cdot \sin \beta_1(\lambda), \quad n(\lambda) \cdot \sin \beta_2(\lambda) = \sin \alpha_2(\lambda), \quad \beta_1(\lambda) + \beta_2(\lambda) = 60^\circ.$$

Угол падения α₁ может быть изменен поворотом призмы относительно параллельного пучка, который входит в нее. Углы α₂, β₁ и β₂ зависят от длины волны λ, поскольку показатель преломления n зависит от длины волны.

Угол отклонения между коллиматором и телескопом определяется на основании угла падения α₁ и угла выхода α₂:

$$(2) \quad \delta(\lambda) = \alpha_1 + \alpha_2(\lambda) - 60^\circ.$$

Угол имеет минимальное значение δ_{min}, когда путь пучка света симметричен относительно призмы. В то же время угловая дисперсия света dδ/dλ будет максимальной. Поэтому призматические

спектрометры регулируются так, что для эталонной длины волны λ₀ обеспечивается симметричный путь пучка света. В этом опыте для этой цели выбрана зеленая спектральная линия (λ₀ = 546,07 нм) ртутной лампы. Показатель преломления призмы для эталонной длины волны определяется по минимальному углу отклонения. Это вызвано тем, что симметрия подразумевает, что β₁(λ₀) = β₂(λ₀) = 30° и α₂(λ₀) = α₁, поэтому:

$$(3) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda_0) \cdot \frac{1}{2}, \quad \text{где } \alpha_1 = \frac{\delta_{\min}}{2} + 30^\circ.$$

Дисперсия подразумевает смещение других спектральных линий от δ_{min} на малые углы Δδ. С помощью шкалы верньера можно считывать значения этих углов с точностью до нескольких минут. Поскольку изменения показателя преломления Δn остаются малыми по всей видимой части спектра, достаточно оценить только изменения линейных членов. Таким образом, из уравнений 1–3 можно получить следующую зависимость между значениями длины волны и их отклонением:

$$(4) \quad \Delta \delta(\lambda) = \Delta \alpha_2(\lambda) = \frac{\Delta n(\lambda)}{\cos \alpha_1} = \frac{\Delta n(\lambda)}{\sqrt{1 - \frac{(n(\lambda_0))^2}{4}}}.$$

В видимой части спектра показатель преломления n уменьшается по мере увеличения длины волны λ. Это описывается уравнением Коши в следующем виде:

$$(5) \quad n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}.$$

В принципе, можно получить математическое описание калибровочной кривой из уравнений (4) и (5). Однако формула дисперсии Хартманна для этой цели подходит лучше.

$$(6) \quad \delta(\lambda) = \delta_n + \frac{K}{\lambda - \lambda_n}$$

Однако модифицирующие параметры δ_n, K и λ_n в приведенном выше не имеют специфического физического смысла.

По этой причине в опыте спектральные линии ртутной лампы используются для калибровки с помощью уравнения (6), а затем можно измерять линии «неизвестного» спектра (см. таблицу 1).

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Показатель преломления n(λ,0) определяется с помощью уравнения 3. Параметры Коши для показателя преломления рассчитываются путем сопоставления параболической кривой с уравнением Δn = n(λ) - n(λ,0) = f(1/λ²).

Таблица 1. Длины волн линий спектра кадмия

Цвет	Результат измерения	Табличное значение
	λ / нм	λ / нм
Синий (среднее отклонение)	466	466
Синий (большое отклонение)	468	468
Голубой (среднее отклонение)	479	480
Темно-зеленый (большое отклонение)	509	509
Темно-зеленый (большое отклонение)	515	516
Красный (большое отклонение)	649	644

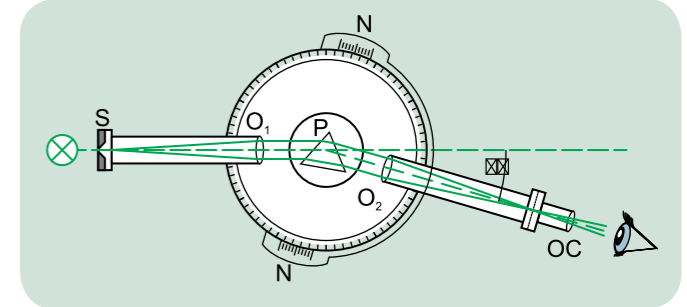


Рис. 1. Схема призматического спектрометра
S: входная щель O₁: объектив коллиматора, P: призма, O₂: объектив телескопа, ОС: окуляр телескопа, δ: угол отклонения

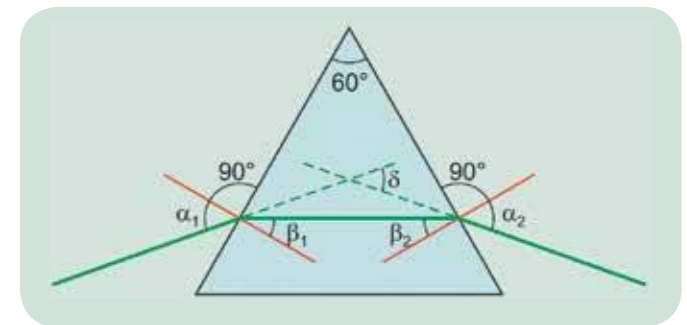


Рис. 2. Путь пучка света через призму

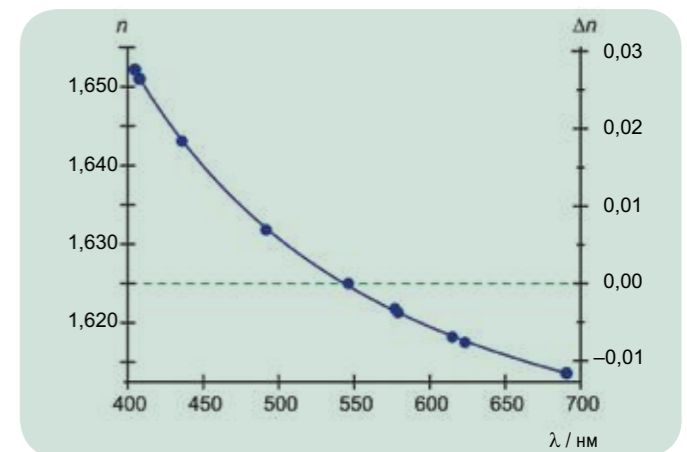


Рис. 3. Зависимый от длины волны показатель преломления призмы из оптического стекла

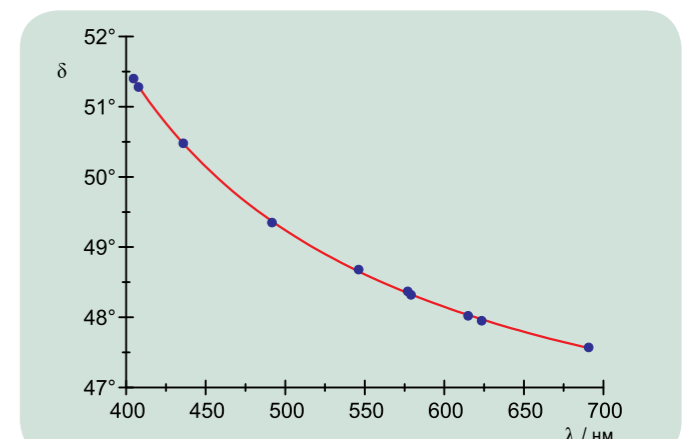


Рис. 4. Калибровочная кривая призматического спектрометра

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Отрегулировать призматический спектрометр и откалибровать его, используя спектральные линии ртутной лампы.
- Измерить минимальный угол отклонения при λ = 546,07 нм.
- Определить показатель преломления оптического стекла при λ = 546,07 нм, параметры Коши b и c для зависящего от длины волны показателя преломления.
- Рассчитать калибровочную кривую в соответствии с формулой дисперсии Хартманна.
- Выполнить измерения на линиях неизвестного спектра.

Технические сведения об оборудовании изложены на сайте 3bscientific.com

