

Определение групповой скорости света в прозрачных средах

Черный В.В., Любимов М.М., Кадер П.М.

Белорусский национальный технический университет

Если среда, в которой распространяются волны, обладает дисперсией, то из волн с одинаковыми амплитудами и близкими частотами образуется так называемый волновой пакет [1,]. Скорость, с которой перемещается в пространстве максимум этого пакета, называется групповой скоростью u . Групповая скорость является важным параметром среды. Именно она проявляется в экспериментах по измерению скорости световых волн. В диапазоне радиочастот групповая скорость фигурирует при измерениях в радиолокации, в системах управления космическими объектами и т.п.

В данной работе групповая скорость света определялась из результатов измерений зависимости показателя преломления среды n от длины световой волны в вакууме λ_0 . Показатель преломления определялся в оптическом стекле ТФ1 по известному методу наименьшего отклонения призмой. Полученная на опыте зависимость n от λ_0 может быть представлена в следующем виде:

$$n = a + \frac{b}{\lambda_0} + \frac{c}{\lambda_0^2}, \quad (1)$$

где коэффициенты a, b и c определяются с помощью квадратичной регрессии.

Для проведения соответствующих расчетов на алгоритмическом языке Pascal была создана программа. В ней использовались известные соотношения между циклической частотой ω , скоростью света в вакууме c , волновым числом k и λ_0 :

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda_0}, \quad (2)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi n}{\lambda_0}. \quad (3)$$

Если в (3) подставить выражение для n из (1), получим:

$$k = \frac{2\pi(a\lambda_0^2 + b\lambda_0 + c)}{\lambda_0^3}. \quad (4)$$

Взяв дифференциал от правой и левой частей равенств (2) и (4), получим:

$$d\omega = -\frac{2\pi c}{\lambda_0^2} d\lambda_0, \quad (5)$$

$$dk = -\frac{2\pi(a\lambda_0^2 + 2b\lambda_0 + 3c)}{\lambda_0^4} d\lambda_0. \quad (6)$$

Так как групповая скорость представима в виде:

$$u = \frac{d\omega}{dk},$$

то из (5) и (6) получим выражение для групповой скорости в виде:

$$u = c \frac{\lambda_0^2}{a\lambda_0^2 + 2b\lambda_0 + 3c}. \quad (7)$$

Последняя формула позволяет определить величину групповой скорости по известным коэффициентам a, b и c .

Значения показателя преломления для различных длин волн излучения ртутной лампы, были полученные по результатам измерений наименьшего угла отклонения. На основании этих значений с помощью компьютерной программы были определены коэффициенты: $a = 1,63461$; $b = -17,5879$; $c = 14889,4$. При этом принималось, что величина λ_0 измеряется в нанометрах. Затем по формуле (7) определялась групповая скорость. Для сравнения для тех же длин волн по формуле (1) определялся n , а затем по известной формуле

$$v = \frac{c}{n}$$

определялась фазовая скорость света. В таблице приведены отношения фазовой и групповой скорости к скорости света в вакууме а также отношение групповой скорости к фазовой.

λ_0 , нм	v/c	u/c	u/v
400	0.593	0.547	0.922
425	0.596	0.555	0.931
450	0.599	0.562	0.939
475	0.601	0.568	0.946
500	0.602	0.573	0.951
525	0.604	0.578	0.956
550	0.605	0.582	0.961
575	0.606	0.585	0.965
600	0.607	0.588	0.968
625	0.608	0.590	0.971
650	0.608	0.593	0.974
675	0.609	0.595	0.976
700	0.609	0.596	0.978
725	0.610	0.598	0.980
750	0.610	0.599	0.982
775	0.611	0.601	0.983

Кроме того, для контроля точности аппроксимации определялась средняя дисперсия, которая оказалась равной 0,01939, что хорошо коррелирует со справочными данными (разница не превышает 0,02%). Из полученных данных следует, что во всей исследованной видимой области спектра имеет место нормальная дисперсия, так как ближайшие полосы поглощения расположены в ближней ультрафиолетовой и ближней инфракрасной областях.

Таким образом, зависимость показателя преломления от длины волны может быть использована для определения такой важной характеристики прозрачной среды, как групповая скорость. Данная методика может быть использована для постановки соответствующей лабораторной работы.

Литература

1. Ландсберг, Г.С. Оптика. - М., «Наука», 1976. - 632 с.