

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Н. Н. Васильев

ВВЕДЕНИЕ В ВОЛНОВУЮ ОПТИКУ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ФИЗИКА

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н. Н. Васильев

ВВЕДЕНИЕ
В ВОЛНОВУЮ ОПТИКУ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УДК 535.12+535.41/.42

ББК 22

В19

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, зав. каф. методики обучения физике *А. В. Ляпцев* (РГПУ им. А. И. Герцена); канд. физ.-мат. наук, доц. каф. электроники твердого тела *Е. А. Денисов* (С.-Петербург. гос. ун-т)

Рекомендовано к печати

*Методическим советом Академической гимназии
Санкт-Петербургского государственного университета*

Васильев Н. Н.

В19 Введение в волновую оптику: учебное пособие.— СПб.:
Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2016. — 38 с.

ISBN 978-5-288-05652-9

Учебное пособие создано на основе многолетней практики преподавания дисциплины «Экспериментальная физика» в Академической гимназии. В пособии излагаются основы электромагнитной теории света, интерференции и дифракции с позиций эксперимента, поэтому громоздкий математический аппарат сведён к минимуму и упор сделан на приближения, оценки и масштаб оптического диапазона электромагнитных волн. Обстоятельно рассмотрены методы зон Френеля и векторных диаграмм, позволяющие количественно описать дифракционную картину высокой симметрии. Определены дифракция Френеля и её предельный случай — дифракция Фраунгофера. Обозначена граница применимости геометрической оптики.

Пособие предназначено для учащихся выпускных классов школ физико-математического профиля и первых курсов нефизических специальностей университетов. Оно будет полезно для преподавателей указанных образовательных учреждений при организации лабораторных работ по оптике.

ББК 22

ISBN 978-5-288-05652-9

© Санкт-Петербургский
государственный
университет, 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие призвано способствовать более глубокому пониманию и усвоению теоретического материала по волновой оптике, излагаемого в школьных учебниках для физико-математических классов и типовых учебниках для нефизических специальностей высших учебных заведений. Излагаемый ниже материал не может заменить посвящённые волновой оптике главы в учебниках по общей физике и является дополнением к этим разделам. В то же время автор надеется, что изложение нетривиальной теории волновых процессов с точки зрения экспериментатора поможет ответить на частные и вполне конкретные вопросы, которые непрерывно возникают у пытливого учащегося. В результате накопления некоторой «критической массы» таких моментов озарения обязательно наступает время, когда абстрактная теория становится вполне зримой и осязаемой.

При подготовке учебного пособия автор опирался на личный многолетний опыт преподавания раздела «Волновая оптика» учебной дисциплины «Экспериментальная физика» в Академической гимназии Санкт-Петербургского государственного университета. В связи со спецификой подачи материала читатель не найдёт ссылок на использованную литературу, так как невозможно перечислить все издания, которые использовались при написании этой работы. Тем не менее нельзя не упомянуть по крайней мере одну книгу — это «Волновая оптика» (5-е изд., 2008) замечательного профессора физического факультета ЛГУ (СПбГУ) Николая Ивановича Калитеевского.

§ 1. Электромагнитные волны. Оптический диапазон электромагнитных волн

Для объяснения ряда оптических явлений (интерференции, дифракции, поляризации) свет можно представить как электромагнитные волны, свойства которых описываются при помощи классической электромагнитной теории Максвелла. В рамках этой теории под светом подразумевается электромагнитное излучение, испускаемое при колебаниях заряженных частиц — электронов, входящих в состав атомов и молекул.

Каждый атом (или молекула) испускает электромагнитную волну, весьма близкую к монохроматической. В такой волне колебания напряженностей электрического и магнитного полей происходят по гармоническому закону с некоторой частотой ν , величина которой определяется как природой самого атома, так и условиями его возбуждения, то есть способом сообщения атому энергии, необходимой для возникновения колебаний электрона.

На рисунке 1 показано положение *оптического* (светового) диапазона частот относительно диапазонов других видов электромагнитных волн. Оптический диапазон включает в себя *инфракрасное*, *видимое* и *ультрафиолетовое* излучения. Общим для этих излучений является то, что все они регистрируются оптическими методами: при помощи тепловых датчиков, фотопластинок, фотоэлементов. Видимая часть излучения, кроме того, воспринимается органами зрения живых организмов. Пучками света можно управлять при помощи приборов, основанных на законах отражения и преломления: зеркал, линз, призм и т. д.

Электромагнитная волна является поперечной: *векторы* напряженностей электрического (\vec{E}) и магнитного (\vec{H}) полей в ней перпендикулярны направлению распространения волны, а также друг



Рис. 1. Шкала электромагнитных волн. Слева — шкала длин волн электромагнитного излучения в метрах, справа — шкала частот в герцах

другу. В электромагнитной волне, излучаемой отдельным атомом в одном акте испускания, колебания векторов \vec{E} и \vec{H} происходят в фиксированных взаимно перпендикулярных плоскостях, проходящих через направление распространения волны, то есть волновой вектор \vec{k} (рис. 2). Такая волна называется *плоско (линейно) поляризованной*. Ее свойства в направлениях векторов \vec{E} и \vec{H} различны: электрическое поле волны действует на заряженные частицы,

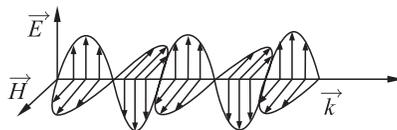


Рис. 2. Распределение в пространстве электрического (\vec{E}) и магнитного (\vec{H}) векторов линейно поляризованной световой волны, распространяющейся в направлении волнового вектора \vec{k}

входящие в состав вещества, через которое проходит волна, иначе, чем магнитное поле. Действием магнитного поля на эти частицы можно пренебречь по сравнению с действием электрического поля. Поэтому в оптике, говоря про световые волны, принимают во внимание только напряженность электрического поля.

§ 2. Введение в теорию гармонических волн

Как известно, волна — колебание некоторой физической величины, которое распространяется во времени и в пространстве.

Выведем простое математическое выражение для *гармонической* волны, то есть волны, имеющей частоту ν и распространяющейся вдоль координаты x . Такая математическая модель хорошо описывает физический пакет гармонических волн со спектром шириной $\delta\nu \ll \nu$. Рассмотрим два упрощения.

Сначала фиксируем точку в пространстве и рассмотрим функцию $\sin \omega t$ (рис. 3). Нас интересует период этого синусоидального колебания T . Очевидно,

$$\begin{aligned} \omega T &= 2\pi, \\ T &= \frac{2\pi}{\omega}. \end{aligned} \quad (1)$$

Теперь становится ясным смысл параметра ω : это величина, обратно пропорциональная периоду колебаний и называемая *круговой частотой*.

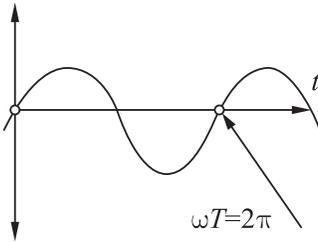


Рис. 3. График функции $\sin \omega t$, описывающей гармоническое колебание, происходящее в некоторой точке пространства (t — время, T — период колебаний, ω — круговая частота)

В эксперименте же используют и измеряют частоту $\nu = \omega/2\pi$, которая имеет размерность $[\text{сек}^{-1}]$: число колебаний в секунду, измеряемое в герцах (Гц). Таким образом, величина ωt безразмерна; она может быть названа *временной частью фазы колебания*.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
§ 1. Электромагнитные волны. Оптический диапазон электромагнитных волн.....	4
§ 2. Введение в теорию гармонических волн.....	6
§ 3. Элементарная теория интерференции.....	9
§ 4. Испускание электромагнитных волн атомами. Приемники света ...	11
§ 5. Когерентные волны. Интерференция.....	13
§ 6. Принцип Гюйгенса—Френеля.....	16
§ 7. Опыт Юнга.....	17
§ 8. Применение принципа Гюйгенса—Френеля.....	19
§ 9. Зоны Френеля.....	22
§ 10. Метод векторных диаграмм.....	24
§ 11. Дифракция на круглом отверстии.....	28
§ 12. Дифракция Фраунгофера.....	29
§ 13. Границы применимости геометрической оптики.....	32
Вопросы, задания и темы для самоконтроля.....	34
Задачи.....	35

Учебное издание

Николай Николаевич Васильев

ВВЕДЕНИЕ В ВОЛНОВУЮ ОПТИКУ

Учебное пособие

Редактор *Л. Б. Вайсман*

Корректор *Е. В. Величкина*

Компьютерная верстка *Е. М. Воронковой*

Подписано в печать 01.03.2016. Формат 60×84¹/16.
Усл. печ. л. 2,2. Тираж 125 экз. (1-й завод). Заказ № 48

Издательство СПбГУ. 199004, С.-Петербург,
В. О., 6-я линия, 11

Тел./факс (812) 328-44-22

E-mail: publishing@spbu.ru publishing.spbu.ru

Типография Издательства СПбГУ.
199061, С.-Петербург, Средний пр., 41