

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ

* *

§ 1. Предмет оптики

Оптика, точнее — *физическая оптика*, есть раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом. Под светом понимают не только *видимый свет*, но и примыкающие к нему широкие области спектра электромагнитного излучения — *инфракрасную* и *ультрафиолетовую*. Различные участки спектра электромагнитного излучения отличаются друг от друга *длиной волны λ* и *частотой ν* — величинами, характеризующими не только *волновые*, но и *квантовые свойства* электромагнитного излучения. Электромагнитный спектр принято делить на *радиоволны*, *инфракрасное*, *видимое*, *ультрафиолетовое*, *рентгеновское* и *гамма-излучения*. Эти участки спектра различаются не по своей физической природе, а по *способу генерации и приема излучения*. Поэтому между ними нет резких переходов, сами участки перекрываются, а границы между ними условны.

Радиоволнами называются электромагнитные излучения, длины волн которых превосходят примерно 0,1 мм. Их принято делить на: 1) *сверхдлинные волны* с длиной волны $\lambda > 10$ км (частота $\nu < 30$ кГц); 2) *длинные волны* ($\lambda = 10—1$ км, $\nu = 30—300$ кГц); 3) *средние волны* ($\lambda = 1$ км — 100 м, $\nu = 300$ кГц — 3 МГц); 4) *короткие волны* ($\lambda = 100—10$ м, $\nu = 3—30$ МГц); 5) *ультракороткие волны* ($\lambda < 10$ м, $\nu > 30$ МГц). Последние в свою очередь принято подразделять на *метровые*, *дециметровые*, *миллиметровые* и *субмиллиметровые* или *микрометровые*. Волны с длиной $\lambda < 1$ м ($\nu > 300$ МГц) принято также называть *микроволнами* или *волнами сверхвысоких частот* (СВЧ). Из-за больших значений λ распространение радиоволн можно рассматривать *феноменологически* без учета атомистического строения среды. Исключение составляют только самые короткие радиоволны, примыкающие к инфракрасному участку спектра. Практически не сказываются и квантовые свойства радиоизлучения.

Видимое, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения составляют так называемую *оптическую область спектра* в широком смысле этого слова. Выделение такой области обусловлено не только близостью соответствующих участков спектра, но и сходством методов и приборов, применяющихся для ее исследования и разра-

ботанных исторически главным образом при изучении видимого света (линзы и зеркала для фокусировки излучения, призмы, дифракционные решетки, интерференционные приборы для исследования спектрального состава излучения и пр.). *Оптический спектр* занимает диапазон от условной границы инфракрасного излучения ($\lambda = 2$ мм, $\nu = 1,5 \cdot 10^{11}$ Гц) до условной коротковолновой границы ультрафиолета ($\lambda = 10^{-6}$ см = 10 нм, $\nu = 3 \cdot 10^{16}$ Гц), что составляет примерно 18 октав¹⁾. Видимое излучение занимает приблизительно одну октаву ($\lambda = 400\text{--}760$ нм), ультрафиолет — 5 октав ($\lambda = 10\text{--}400$ нм), инфракрасное излучение — 11 октав ($\lambda = 760$ нм — 2 мм). В оптической области спектра частоты ν уже перестают быть малыми по сравнению с собственными частотами атомов и молекул, а длины волн большими по сравнению с молекулярными размерами и межмолекулярными расстояниями. Благодаря этому в этой области становятся существенными явления, обусловленные атомистическим строением вещества. По той же причине, наряду с волновыми, проявляются и квантовые свойства света. Энергия светового кванта определяется выражением

$$\mathcal{E} = h\nu, \quad (1.1)$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-27}$ эрг · с — *постоянная Планка*. Полезно заметить, что для длины волны $\lambda = 1000$ нм энергия соответствующего кванта составляет $\mathcal{E} = 1,23$ эВ, или приблизительно один электрон-вольт. На концах видимого спектра ($\lambda_{\text{кр}} = 760$ нм, $\lambda_{\text{фл}} = 400$ нм) для энергии кванта формула (1.1) дает $\mathcal{E}_{\text{кр}} \approx 1,6$ эВ, $\mathcal{E}_{\text{фл}} \approx 3$ эВ.

В области рентгеновского и гамма-излучения на первый план выступают *квантовые свойства излучения*. Рентгеновское излучение возникает при торможении быстрых заряженных частиц (электронов, протонов и пр.), а также в результате процессов, происходящих внутри электронных оболочек атомов. Гамма-излучение появляется в результате процессов, происходящих внутри атомных ядер, а также в результате превращения элементарных частиц. Оно появляется и при торможении быстрых заряженных частиц. Характерные энергии гамма-квантов — порядка одного или нескольких МэВ. Границы областей рентгеновского и гамма-излучения, в особенности коротковолновые, могут быть определены лишь весьма условно. Для общей ориентировки можно принять, что энергия рентгеновских квантов лежит в пределах 20 эВ — 1 МэВ ($\lambda = 50\text{--}10^{-3}$ нм), а энергия гамма-квантов — больше 0,1 МэВ ($\lambda < 10^{-2}$ нм).

Следует заметить, что волновые и квантовые закономерности являются общими для всего спектра электромагнитного излучения. Только, в зависимости от длины волны, на первый план выступают

¹⁾ Октавой называется интервал частот между произвольной частотой ω и ее гармоникой 2ω .

разные явления, разные методы исследования и разные практические применения. Поэтому на оптику нельзя смотреть как на замкнутую дисциплину, изучающую только оптическую область спектра, отделенную от других областей резкими границами. Закономерности и результаты, найденные в этих других областях, могут оказаться применимыми в оптической области спектра и обратно.

Практическое значение оптики и ее влияние на другие отрасли знания исключительно велики. Изобретение телескопа и спектроскопа открыло перед человеком удивительнейший и богатейший мир явлений, происходящих в необъятной Вселенной. Изобретение микроскопа произвело революцию в биологии. Фотография помогла и продолжает помогать чуть ли не всем отраслям науки. Одним из важнейших элементов научной аппаратуры является линза. Без нее не было бы микроскопа, телескопа, спектроскопа, фотоаппарата, кино, телевидения и т. п. Не было бы очков, и многие люди, которым перевалило за пятьдесят лет, были бы лишены возможности читать и выполнять многие работы, связанные со зрением.

Область явлений, изучаемая физической оптикой, весьма обширна. Оптические явления теснейшим образом связаны с явлениями, изучаемыми в других разделах физики, а оптические методы исследования относятся к наиболее тонким и точным. Поэтому неудивительно, что оптике на протяжении длительного времени принадлежала ведущая роль в очень многих фундаментальных исследованиях и развитии основных физических воззрений. Достаточно сказать, что обе основные физические теории текущего столетия — теория относительности и теория квантов — зародились и в значительной степени развились на почве оптических исследований. Изобретение лазеров открыло новые широчайшие возможности не только в оптике, но и ее приложениях в различных отраслях науки и техники.

§ 2. Геометрическая оптика

1. Простейшие оптические явления, например возникновение теней и получение изображений в оптических приборах, могут быть поняты в рамках так называемой *геометрической оптики*. В основу формального построения последней можно положить четыре закона, установленных опытным путем: 1) *закон прямолинейного распространения света*; 2) *закон независимости световых пучков*; 3) *закон отражения* и 4) *закон преломления света*. Для понимания более сложных явлений нужна уже *физическая оптика*, рассматривающая эти явления в связи с *физической природой света*. Физическая оптика позволяет, в частности, не только вывести все законы геометрической оптики, но и установить *границы их применимости*. Без знания этих границ формальное применение законов геометрической оптики может в конкретных случаях привести к результатам,