

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ОПТИКА ¹⁾

ГЛАВА I

СКОРОСТЬ СВЕТА. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

§ 1. Исторические сведения о развитии оптики

Возникновение старейшего отдела оптики, так называемой *геометрической оптики*, относится к глубокой древности. Уже в «Оптике» Евклида (300 г. до н. э.) содержатся принцип прямолинейности световых лучей и основной закон отражения света. Геометрическая оптика имеет огромное практическое значение, но охватывает сравнительно узкую область световых явлений и носит несколько формальный характер в соответствии со своим названием. В геометрической оптике не делается никаких предположений о природе света и действие оптических приборов рассматривается как результат отражения и преломления бесконечно узких световых пучков. Лишь в конце XVII в. оформилась как научная дисциплина физическая оптика, исходившая из определенных представлений о природе света и охватившая гораздо более широкий круг световых явлений. Однако сложность световых явлений привела к тому, что одновременно возникли две совершенно противоположные теории света: волновая и корпускулярная. Острая борьба между сторонниками обеих теорий длилась более 100 лет.

Основы *волновой оптики* были заложены Гюйгенсом в XVII в. В теории Гюйгенса представление о световом луче имеет второстепенное значение.

Согласно Гюйгенсу свет представляет собой волну упругой деформации, распространяющуюся во всепроникающей среде — мировом эфире. Сам процесс распространения световой волны связан с возникновением вторичных сферических волн, испускаемых каждой частицей эфира, затронутой световой волной. Гюйгенс рассматривал движение одиночных волновых импульсов и совершенно не учитывал периодичности световых волн.

¹⁾ «Оптика» (главы I — VII, X и § 80) написана В. А. Фабрикантом; все остальные главы — К. А. Путиловым.

Следуя Гюйгенсу, фронт световой волны в каждый момент определяли как огибающую поверхность, соприкасающуюся со всеми элементарными волнами, излучаемыми отдельными частицами эфира (§ 25). Скорость распространения элементарных волн ставили в зависимость от упругих свойств тела. На этом основании в анизотропных телах, характеризующихся неоднородной упругостью в различных направлениях, элементарным волнам приписывали форму, тем более отличающуюся от сферической, чем выше степень анизотропности среды.

В то же самое время Ньютоном была предложена *теория истечения света*. Теория Ньютона предлагала рассматривать свет как поток материальных частиц. Наряду с корпускулярными свойствами света Ньютон предполагал наличие в световом луче своеобразной периодичности («приступы» легкого и тяжелого отражения). Учет периодичности в световом движении представляет шаг вперед по сравнению с волновой теорией Гюйгенса, но корпускулярная картина Ньютона была плохо приспособлена для объяснения опытных фактов.

Вначале теория Ньютона имела более широкое распространение, чем теория Гюйгенса, но в XIX в. под влиянием классических трудов Френеля, посвященных исследованию явлений интерференции и дифракции, она была отвергнута и забыта.

В эпоху наибольшего расцвета корпускулярной теории, в 1756 г., М. В. Ломоносов, невзирая на авторитет Ньютона, выступил как решительный сторонник волновой теории. В труде «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее» Ломоносов резко критиковал корпускулярную теорию Ньютона и пришел к заключению: «следовательно, остается одно третье зыблующееся движение Ефира, которое должно быть причиной Света». Аналогичной точки зрения придерживался и Л. Эйлер.

В продолжение некоторого времени в физике не возникало сомнений в реальности мирового эфира, и казалось, что волновая теория света установлена неизбежно. Однако природа эфира оставалась все время столь же загадочной, как и в первые годы торжества волновой теории. Все попытки представить себе такую структуру всепроникающей мировой среды, которая могла бы объяснить важнейшие свойства световых волн, неизменно оказывались бесплодными и только увеличивали всеобщую разочарованность в возможности разрешения этой проблемы.

Во второй половине минувшего столетия работы Максвелла и Герца с несомненностью установили электромагнитный характер оптических явлений и привели к синтезу оптики и электродинамики. Гипотеза упругих поперечных колебаний эфира была заменена представлением о периодическом изменении напряженности электрического и магнитного полей. Световые волны оказались одним из видов электромагнитных волн. Сложное здание волновой оптики от этого

нисколько не пострадало. Обнаружилось, что принцип Гюйгенса в известных пределах эквивалентен уравнениям Максвелла. Триумф *электромагнитной теории света* состоял не столько в том, что она блестяще разрешила все те вопросы, которые уже раньше были поставлены и разрешены оптикой упругих колебаний но главным образом в том, что она предсказала ряд новых явлений и, в частности, указала путь, который через несколько десятилетий привел к радиотехнике.

К началу XX в. с особенной остротой возник вопрос о том, увлекается ли эфир движущимися телами или он всегда остается абсолютно неподвижным. Многие в высшей степени убедительные соображения заставили категорически отвергнуть мысль о возможности существования столь прочной связи между эфиром и атомами тел, чтобы при движении он мог быть полностью увлечен движущимся телом. Отсюда с неизбежностью следовал вывод, что движение Земли в мировом пространстве должно сопровождаться «эфирным ветром», пронизывающим Землю. Вывод этот был, однако, опровергнут опытами Майкельсона, доказавшего оптическим путем, что «эфирного ветра» не существует. Гипотеза о существовании эфира привела к внутреннему противоречию: эфир не связан с атомами тел, но все же он увлекается движущимися телами, ибо нет «эфирного ветра». Возникающее противоречие заставило физиков пересмотреть самые основные представления о пространстве и времени (§ 5). В результате появилась теория относительности Эйнштейна, составляющая одну из фундаментальных частей современной физики.

Не меньшую революцию произвело рассмотрение вопроса об излучении, испускаемом нагретыми телами. Здесь результаты оптических экспериментов привели к необходимости введения в физику представления о прерывных процессах, совершающихся скачками. В частности, пришлось признать, что излучение и поглощение света происходят не непрерывно, а отдельными порциями, получившими название *квантов света*. В дальнейшем квантовые представления распространились далеко за пределы оптики и теперь составляют основу современной физики. В квантовой теории света принимают, что свет имеет дискретное строение не только в момент излучения и поглощения, но и в течение всей промежуточной стадии лучистого распространения: вместо распространения волн рассматривают полет световых частиц — *фотонов*. В этом смысле квантовая теория близка к теории истечения, предложенной Ньютоном. Однако фотоны представляют собой материальные частицы качественно иной природы, чем обычные частицы вещества (например, атомы и электроны). Фотоны обладают конечной массой, но «масса покоя» (§ 6) фотона равна нулю и все фотоны движутся с одной и той же скоростью, равной скорости света в пустоте. Старая теория истечения не учитывала имеющиеся качественные различия между частицами света и вещества, что приводило к выводам, противоречащим опыту.

Современный этап развития теории света состоит в создании картины, отражающей диалектическое единство противоречивых корпускулярно-волновых свойств света. Эта картина не может считаться законченной.

Очень важным явилось открытие, сделанное де Бройлем в 1925 г., волновых свойств у частиц вещества (электронов и атомов). Тем самым было доказано, что обе известные нам формы существования материи — свет и вещество — обладают противоречивыми корпускулярно-волновыми свойствами. Наконец, были открыты процессы превращения частиц вещества в фотоны и фотонов в частицы вещества (§ 91).

Любопытно, что еще Ньютон допускал возможность таких процессов. В тридцатом вопросе «Оптики» Ньютон спрашивает: «И среди столь разнообразных и странных превращений почему же природа не может изменять тела в свет и свет в тела?». Физики-идеалисты пытаются истолковать эти процессы как превращение материи в энергию и энергии в материю. Такая трактовка абсолютно неправильна.

Было бы неправильно считать свет одной из форм энергии. *Свет есть одна из форм материи*, но свет, как и всякая форма материи, обладает, конечно, определенной энергией. Свет и вещество — только две качественно различные формы движущейся единой материи. С. И. Вавилов, развивая материалистическое понимание результатов современной физики, писал: «Существующий материальный мир — движущаяся материя — представляется нам в двух основных формах — как *вещество* и *свет*».

Энергия света имеет особую ценность, так как, с одной стороны, она сконцентрирована в сгустки — кванты — и, с другой стороны, легко может быть полностью использована. В частицах вещества сосредоточена огромная энергия (§ 73), но ее полное использование весьма затруднительно. Даже при ядерных реакциях (§ 113) освобождается примерно тысячная доля полной энергии вещества. Наоборот, при различных действиях света используется вся энергия света. К числу таких действий света относятся: фотохимические реакции, в частности фотосинтез органических веществ в растениях (§ 77), фотоэлектрический эффект (§ 51), лучистый нагрев и т. д.

§ 2. Электромагнитная теория света

Как было указано выше, Максвелл является создателем электромагнитной теории света. Правда, сам Максвелл уступал приоритет этого важнейшего открытия Фарадею. Он писал в «Динамической теории электромагнитного поля»: «Концепция распространения поперечных магнитных возмущений с исключением возможности продольных возмущений была отчетливо высказана профессором Фарадеем в его „Мыслях о лучевых колебаниях“. Электромагнитная