

---

## Глава I

### ВВЕДЕНИЕ

#### § 1. ЗНАЧЕНИЕ И РОЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Природа вооружила человека прекрасным оптическим инструментом — глазом. На внутренней поверхности глаза образуется оптическое изображение, воспринимаемое человеком как зрительный образ. Но возможности глаза ограничены. Глаз видит только те предметы, которые расположены непосредственно перед ним на сравнительно близком расстоянии, и не может различить отдельные детали далеко расположенных предметов. Глаз не видит в темноте.

Оптические приборы, созданные человеком, необычайно расширили возможности зрения. Приборы перископического типа позволяют наблюдать процессы, происходящие в помещениях, не доступных для человека. Окопные перископы, стереотрубы, танковые прицелы, перископы подводных лодок применяются для наблюдения из-за укрытий. Театральные и призмённые бинокли давно уже стали предметами нашего обихода. В мореплавании широко применяются различные подзорные трубы для рассмотрения далеких объектов.

Астрономические рефракторы и рефлекторы позволили проникнуть взором в глубины мирового пространства и открыть много новых звезд и звездных скоплений. С помощью этих приборов рассматривают ближайшие к Земле планеты и наблюдают процессы, происходящие на поверхности Солнца.

Приборы, позволяющие рассматривать далеко расположенные предметы и называемые телескопическими, весьма разнообразны. Среди них приборы для измерения координат движущихся целей, такие, как дальномеры и высотомеры, большая группа геодезических приборов: нивелиры, теодолиты и другие, позволяющие определять координаты точек на земной поверхности.

Невооруженный глаз различает предметы величиной около 0,1 мм. Применение луп повысило эту возможность до 0,01 мм, а с помощью микроскопа стало возможным различать малые объекты величиной до 0,15 мкм. Микроскоп применяется в различных отраслях науки и техники, в частности для контрольно-измерительных целей в виде компараторов, толщесмеров, отсчетных, координатных, инструментальных, универсальных и других микроскопов.

Успехи фотохимии вызвали значительное развитие фотографических приборов. Общеизвестны не только фотоаппараты различных типов и конструкций, но и различные фотографические устройства к микроскопам, телескопам, зрительным трубам, позволяющие фиксировать изображения в видимых и невидимых лучах спектра. Фотографические оптические системы применяются для фотографирования с экранов радиолокаторов, электронных осциллографов и телевизионных трубок, а также для фотографирования шкал счетно-решающих машин.

Оптические приборы позволяют проектировать ряд последовательных изображений на экран и получать впечатление движущихся объектов.

Сложные оптические системы в виде киносъемочных камер, осветительных приборов, приборов для размножения фильмов, кинопроекторных аппаратов применяются в процессе создания кинофильма.

Киносъемочные и проекционные устройства позволили осуществить стереоскопическое безочковое и поляроидное кино. Развитие оптических средств обусловило появление широкоэкранный, широкоформатный и панорамный кинематографов, а также круговой кинопанорамы.

Проекционные приборы в виде диапроекторов, эпипроекторов, эпидиаскопов, оптических и теневых проекторов нашли широкое применение как для исправления аэроснимков и карт, контроля изготовления деталей в металлопромышленности, так и для демонстрации различных рисунков и фотографий.

Неотъемлемой частью многих оптических приборов являются осветительные устройства, предназначенные для создания надлежащей освещенности рассматриваемых предметов. Такие устройства кроме источника света содержат и оптические детали— конденсоры и зеркала, позволяющие направить максимальный и возможно более равномерный световой поток на предмет.

Большое развитие за последнее время получили спектральные приборы: спектроскопы, спектрографы и спектрометры. Приборы спектрального анализа позволяют установить разницу в количественном содержании веществ, составляющих всего 0,0001 %.

Использование фотоэлектрического эффекта позволило создать большую группу фотоэлектрических приборов контроля автоматических процессов в различных отраслях народного хозяй-

ства. Широко применяются специальные оптические устройства фототелеграфных и фотогравировальных машин, светозаписи звуковых колебаний, фотореле и т. п. В телемеханических и электроизмерительных приборах (электрометры, зеркальные гальванометры, магнитоэлектрические осциллографы и др.) применяются специальные оптические устройства для записи и контроля показаний.

Для определения освещенностей, оптических плотностей и светопропускания служат фотометрические приборы. Люксметром измеряют освещенность, денситометром — оптическую плотность, универсальным фотометром — коэффициенты отражения непрозрачных тел и коэффициенты светопропускания прозрачных, микрофотометром — оптические плотности малых прозрачных участков. Спектродензограф позволяет определять оптические плотности непрозрачных тел в различных лучах спектра, а спектрофотометр — оптические плотности прозрачных тел, а также измерять распределение интенсивности излучения в спектре источника света.

В работах, связанных с изучением цвета, пользуются колориметрическими приборами. Эти приборы приобретают особое значение на транспорте, в полиграфии и в химии. Колориметр, например, позволяет определять цвет излучения или цвет окрашенной поверхности.

При помощи интерференционных приборов определяют качество изображения оптических систем, качество обработки различных поверхностей с точностью до долей микрона, измеряют очень малые расстояния.

Напряжения в материалах измеряются с помощью поляризационных приборов.

Можно выделить пять главных видов оптических приборов: 1) зрительные трубы (телескопические системы), 2) микроскопы, 3) фотографические объективы, 4) проекционные приборы, 5) осветительные приборы.

Иногда в одном приборе одновременно сочетаются признаки двух и более видов приборов. Например, металлографический микроскоп последовательно может служить и как обычный микроскоп и как фотографический прибор. В микрофотометре сочетаются осветительные устройства, оптическая система микроскопа, проекционные и фотографические устройства. Современные приборы сложны и основаны на взаимодействии многих механических, оптических и электрических устройств.

## **§ 2. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Основы современной оптики были заложены в далеком прошлом. Греческий философ Платон (427—347 гг. до н. э.) создал одну из первых теорий света, а Аристотель (384—322 гг. до н. э.)

объяснил сущность зрения. Хотя многие теоретические положения древних философов, а позднее и ученых средних веков, были недостаточны, порою просто ошибочны, тем не менее они способствовали развитию правильных взглядов на оптические явления и созданию различных оптических приборов.

Старейшие оптические приборы — лупа и очки

Изобретение зрительной трубы, а затем и микроскопа относится к началу XVII в. Предполагают, что зрительная труба была изобретена в Италии медиком Фракасторо (1483—1553), однако первая заявка на изобретение зрительной трубы была подана в Нидерландах Липперсгеем в 1608 г. В Италии в 1609 г. Галилеи изобрел свою знаменитую зрительную трубу с окуляром в виде отрицательной линзы. К этому же периоду относится и изобретение микроскопа, хотя дата и автор изобретения до сих пор неизвестны.

Оптика, как один из разделов физики, получила наиболее раннее развитие Энгельс, характеризуя развитие науки в средние века, писал, что физика, в собственном смысле слова, была еще в самой первоначальной стадии, за исключением оптики, успехи которой были вызваны практическими потребностями астрономии.

Значительное влияние на развитие оптики оказал Исаак Ньютон (1643—1727). В Кэмбридже в 1669, 1670 и 1671 гг. он читал «Лекции по оптике» (изданные в 1728 г), где излагал основы теории преломления света и происхождения цветов. В 1704 г. была издана работа Ньютона «Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света».

В России очки и зрительные трубы появились в начале XVII в., а в середине XVII в. они нашли широкое практическое применение, главным образом в военном деле.

Общий рост промышленности, торговли и военной техники при Петре I благотворно повлиял на дальнейшее развитие оптики в России.

Интересно отметить, что с момента учреждения в России Академии наук (1725 г.) там были организованы кафедра оптики и оптическая мастерская. Одним из руководителей кафедры оптики был академик Леонард Эйлер (1707—1783), написавший в 1771 г. книгу «Диоптрика», в которой изложил основы геометрической оптики. Оптическая мастерская при Петербургской академии наук существовала около ста лет и сыграла большую роль в развитии оптики в России.

Исключительное влияние на развитие оптики в России оказал Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765). В 1756 г. он написал трактат «О происхождении света», в котором излагается механика световых колебаний эфира на основе волновой теории. Кроме того, Ломоносов создал целый ряд оптических инструментов и приборов, разработал метод анализа прозрачных твердых тел и растворов по их показателю преломления, дал рецептуру и исследовал способы варки цветного стекла.

Развитие оптических приборов тормозилось из-за неумения бороться с хроматической аберрацией линз. Только в 1807 г. за рубежом появились первые ахроматические микроскопы.

В 1767 г. в Петербурге был открыт класс математических инструментов при Академии художеств, существовавший до 1795 г. и изготовлявший различные оптические приборы. В 1803 г. при Государственной адмиралтейской коллегии в Петербурге была организована оптическая мастерская, изготовлявшая главным образом оптические приборы для нужд российского флота.

Крупным событием в развитии оптического приборостроения был пуск в 1805 г. первого завода оптического стекла в Баварии.

Ко второй четверти XIX в. относятся замечательные работы в области оптических приборов минского чиновника О. Н. Малафеева, талантливого изобретателя-самоучки.

В середине XIX в. в работах по оптике принимают участие видные ученые Петербургского, Московского и других университетов. Профессор Казанского университета, известный математик П. И. Лобачевский (1793—1856) подает на конкурс в Петербургской академии наук работу «Об истинной теории света», в которой объясняет теорию света на основе волн-корпускул. Профессор физики Московского университета Н. А. Любимов (1830—1896) в 1872 г. публикует работу «Новая теория поля зрения и увеличения оптических снарядов», в которой он обосновал теорию поля зрения зрительных труб системы Галилея. Профессор физики Новороссийского университета Ф. Н. Шведов (1840—1905) разрабатывает систему оптического дальномера. Профессор физики Петербургского университета Ф. Ф. Петрушевский (1828—1904) разрабатывает в 1872—1873 гг. «лунный спектрофотометр», затем в 1884 г. — фотометр сравнения, ряд маячных осветительных устройств, а в конце 80-х годов вместе с братом, военным инженером, — дальномер.

Вторая половина XIX в. ознаменовывается изобретением новых источников света. В 1873 г. А. Н. Лодыгин демонстрирует первую лампу накаливания, а спустя три года, в 1876 г., П. Н. Яблочков берет патент на электрическую свечу. В. Н. Чиколев (1845—1898) разрабатывает кольцевой отражатель и создает новый метод испытания прожекторных отражателей (1892). Профессор физики Московского университета А. Г. Столетов (1839—1896) создает учебник «Введение в акустику и оптику» (1900), который на долгие годы становится настольной книгой всех занимающихся оптикой.

В начале XX в. учеными России были выполнены важные исследования по оптике. Профессор физики Московского университета П. Н. Лебедев (1866—1912) в 1899 г. впервые в мировой науке экспериментально показал существование давления света, а в 1909 г. продемонстрировал давление света на газы. Академик П. П. Лазарев (1878—1942) в 1907 г. и в более поздние годы в своих работах исследует химическое действие света. Его работы в области выцветания красок и пигментов имеют огромное при-

кладное значение. Академик Д. С. Рождественский (1876—1940) выполнил ряд работ в области аномальной дисперсии света в парах натрия и разработал интерференционный метод количественного изучения аномальной дисперсии в парах, так называемый «метод крюков» (1912).

В 1914 г. началась мировая война и был прекращен импорт в Россию оптических приборов и стекла. В связи с этим было организовано «Российское акционерное общество оптических и механических производств», а на Петербургском императорском фарфоровом заводе было начато производство оптического стекла. Уже в 1916 г. этот завод освоил варку нескольких сортов оптического стекла.

На этом заканчивается дореволюционный период развития оптики в России. Октябрьская революция открыла новую страницу в развитии русской науки. Наука приобрела значение важного государственного дела. На ее развитие государство стало отпускать значительные средства. Широкое распространение получила научно-исследовательская работа в учебных и во вновь созданных отраслевых институтах.

В декабре 1918 г. в Петрограде организуется Государственный оптический институт (ГОИ), специально предназначенный для решения различных научных и технических проблем в области оптического стекловарения и оптико-механического производства. В Ленинградском политехническом институте впервые в СССР в 1925 г. создается специализация по светотехнике под руководством академика М. А. Шателена (1865—1953). В Москве создается электротехнический институт (ВЭИ), вскоре ставший ведущим в области светотехники. Во многих научных институтах разрабатываются отдельные оптические вопросы прикладного характера. При Московском государственном университете в 1923 г. организуется институт физики, возглавляемый А. С. Предводителевым. В оптической лаборатории Института физики МГУ с 1930 г. развернулись крупные работы в области физической сущности света, спектрального анализа, флюоресценции и фосфоресценции.

Наряду с расширением сети научно-исследовательских институтов государство принимает ряд мер по расширению существующих и созданию новых оптико-механических заводов, которые занимаются выпуском оборудования для разнообразных нужд народного хозяйства страны (фотоаппаратов, микроскопов, измерительных приборов, киносъёмочной и проекционной аппаратуры и т. д.).

В связи с расширением оптического производства потребовались новые кадры, поэтому в ряде вузов были организованы специальные факультеты для подготовки специалистов в области оптики: оптико-механические факультеты ЛИТМО, МИИГАиК и МВТУ. Большой вклад в дело подготовки специалистов-оптиков внесли физические факультеты университетов, и в особенности Московского и Ленинградского.

В этот период объем выполненных работ в области оптики значительно увеличился.

Большую серию работ выполнил академик С. И. Вавилов (1890—1950) — основатель советской школы люминесценции и автор выдающихся работ по фотолюминесценции. С. И. Вавилов — автор большого количества книг и статей по различным разделам оптики.

Многие ученые нашей Родины за выдающиеся работы в области оптики награждены правительственными наградами. Среди них Г. С. Ландсберг — за разработку метода спектрального анализа для определения состава сплавов и спецсталей, Ф. А. Королев — за работы в области спектрального анализа, И. В. Обреимов — за труды о приложении дифракции для физических и технических измерений, С. И. Вавилов, В. П. Левшин, М. А. Константинова, В. А. Фабрикант, Ф. А. Бутаева и В. И. Долгополов — за разработку люминесцентных ламп, Н. Г. Басов и А. М. Прохоров — за создание молекулярного оптического генератора.

Государственный оптический институт (ГОИ) является ведущим учреждением в Советском Союзе в области оптики. Большую организационно-техническую работу по созданию института провел академик Д. С. Рождественский, бессменный руководитель института с 1918 по 1932 г. Его работы в области спектроскопии и микроскопии расширили возможности спектрального анализа и видения через микроскоп.

Первые работы ГОИ были направлены на развитие отечественного оптического стекловарения — базы оптико-механической промышленности. С первых дней создания института в нем работали талантливые ученые: академики И. В. Гребенщиков и А. А. Лебедев, члены-корреспонденты Академии наук Н. Н. Качалов и А. И. Тудоровский, работы которых в области производства оптического стекла позволили уже в 1927 г. прекратить его импорт. И сейчас, несмотря на значительный вклад ряда заводов оптического стекла в решение проблем стекловарения, ГОИ принадлежит ведущая роль на этом сложнейшем участке оптического производства.

Одновременно с решением проблем оптического стекловарения перед институтом были поставлены практические задачи по развитию оптотехнических методов испытания и контроля оптических систем, задачи по светотехнике, фотометрии и фотографии, задачи постановки вычислительного дела. Первоначально взятое направление работ соответствовало нуждам страны и в последующие годы все расширялось и углублялось, захватывая все новые и новые отрасли оптики.

Широкий круг вопросов вычисления оптических систем, анализа аберраций существующих оптических приборов был решен членом-корреспондентом АН СССР А. И. Тудоровским (1875—1963), руководителем вычислительного отдела ГОИ.

В оптотехническом отделе ГОИ под руководством академика

В. П. Линника производится разработка методов и приборов анализа оптических систем.

Вопросы светотехники разрабатываются во Всесоюзном научно-исследовательском светотехническом институте (ВНИСИ), выделенном из ВЭИ в 1951 г.

В годы Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. оптическая промышленность была персбазирована в восточные районы страны и успешно разрешала вопросы производства в тяжелых условиях военного времени. «Советская оптика в лице своих ученых, инженеров и квалифицированных рабочих с честью выполнила свою задачу перед Родиной. Красная Армия во время войны никогда не жаловалась на оптику, она имела ее в хорошем виде и вдоволь»\*.

В послевоенные годы мирные устремления Советского Союза определили направление развития оптики в стране. Оптические заводы переключили свое производство на выпуск оптических приборов для удовлетворения нужд населения, научных исследований и промышленности.

В период 1949—1953 гг. оптико-механическая промышленность разработала и изготовила наиболее современные оптические приборы для лабораторий нового здания Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Среди них спектральные приборы, приборы большой дисперсии и разрешающей способности, интерференционные спектральные приборы, спектральные приборы для визуальных наблюдений, спектрофотометры, приборы для инфракрасной области спектра и др.

В 1951 г. В. А. Фабрикант, Ф. А. Бутаева и М. М. Вудынский открыли явление молекулярного усиления электромагнитных волн, послужившее началом развития новой отрасли оптического приборостроения — оптических квантовых генераторов, ныне получивших широкое применение в астрономии, технике связи и т. п.

В последнее десятилетие в связи с широким применением быстродействующих электронно-вычислительных машин стало возможно сократить сроки расчета сложнейших оптических систем.

Все больше применяются оптические системы с несферическими поверхностями, позволяющими достичь более высокого качества изображения, а также оптические системы двоякой симметрии, позволяющие получать различный масштаб изображения в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Советская оптико-механическая промышленность сейчас полностью удовлетворяет нужды промышленности и научных лабораторий отечественными приборами и оборудованием.

---

\* С. И. Вавилов Советская наука на службе Родины. М—Л, Изд-во АН СССР, 1946, стр. 127.

### § 3. ПРЕДМЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Оптика составляет часть физики. Необходимость применения разнообразнейших оптических приборов для научных, производственных и бытовых целей вызвала всестороннее развитие этого раздела физики.

Оптика разделяется на физическую и геометрическую. Изучение природы света и таких явлений, как интерференция, дифракция, поляризация и др., составляет предмет физической оптики.

Опытом были установлены четыре основных закона, имеющие для физической оптики приближенное значение: 1) закон прямолинейного распространения света, 2) закон независимого распространения лучей, 3) закон преломления и 4) закон отражения света.

На основе этих законов можно построить математическую теорию геометрических свойств распространения света. Эта теория, называемая геометрической оптикой, позволила объяснить образование изображения в оптических приборах и разработать конструкции этих приборов. Оптические приборы в наше время получили столь широкое распространение и развитие, что появилась необходимость выделять отдельные группы приборов, объединенные общими теоретическими свойствами и специализированные на решении однородных задач. Таким образом, были созданы оптика микроскопа, оптика телескопических систем, фотографическая оптика, проекционная оптика и др.

Теория аберраций и методика расчета оптических систем также являются частью геометрической оптики. Технологические основы сборки и юстировки оптических приборов в основном базируются на положениях геометрической оптики. Законы геометрической оптики используются при измерении постоянных оптических систем и деталей, при исследовании оптических свойств приборов и изучении их погрешностей. Таким образом, геометрическая оптика является теоретическим фундаментом оптических приборов.

Знание физической природы световых явлений позволяет установить границы применимости выводов геометрической оптики, так как полная теория оптических приборов предполагает учет теоретических положений физической оптики.

---