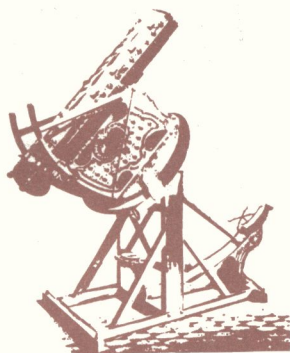
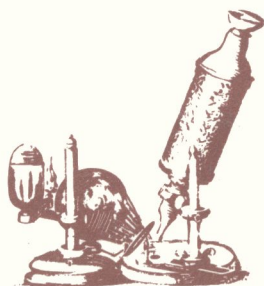


В. А. ГУРИНОВ

СТАНОВЛЕНИЕ
ПРИКЛАДНОЙ
ОПТИКИ
XV-XIX ВВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Серия «История науки и техники»

В. А. ГУРИКОВ
**СТАНОВЛЕНИЕ
ПРИКЛАДНОЙ
ОПТИКИ
XV—XIX вв.**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1983

Г-95 Г у р и к о в В. А. Становление прикладной оптики. XV—XIX вв. — М.: Наука, 1983.

Книга посвящена творцам прикладной оптики и истории создания различных оптических приборов в XV—XIX вв. Процесс развития наиболее важных оптических инструментов XVII—XVIII вв. проиллюстрирован автором при помощи сохранившихся в музеях СССР наиболее интересных и редких экспонатов.

Ответственный редактор

доктор физико-математических наук

П. В. ЩЕГЛОВ



Scan AAW

1602000000-500
042(02)-83

111-83 — IV

© Издательство «Наука», 1983 г.

ВВЕДЕНИЕ

История прикладной оптики — один из интереснейших разделов истории науки и техники. Несмотря на то что отдельными вопросами истории оптики занимались многие ученые, здесь еще осталось немало «белых пятен». Известно, например, что линзы существовали еще 2500 лет до н. э.¹, а очки вошли в употребление в конце XIII в. Почему же понадобилось еще несколько столетий, чтобы расположить две линзы одну за другой, т. е. создать зрительную трубу (конец XVI—начало XVII в.)?

До настоящего времени читатель имел возможность познакомиться либо с работами по истории оптики вообще [1—7], либо с работами по истории конкретных оптических приборов, например микроскопов [8—14] и телескопов [15—19]. Во всех этих книгах рассматривался довольно широкий круг самых разнообразных вопросов, кроме одного: как происходило развитие творческой мысли в области конструирования и расчета оптических систем. Цель настоящей книги — частично заполнить этот образовавшийся пробел.

Читатель познакомится с деятельностью крупнейших ученых XV—XIX вв. (Леонардо да Винчи, Г. Галилей, Э. Торричелли, И. Кеплер, Р. Декарт, Х. Гюйгенс, И. Ньютон, Л. Эйлер, М. В. Ломоносов, Й. Фраунгофер, В. Гершель, К. Ф. Гаусс, О. Ж. Френель, Э. Аббе, П. Рудольф и др.), заложивших научные основы расчета и конструирования оптических систем. Кроме того, ему предоставится возможность проследить историю развития оптических инструментов в XVI—XVIII вв. и познакомиться с наиболее интересными из них, хранящимися в различных музеях СССР.

¹ Линзы из горного хрусталя, изготовленные около 4500 лет назад, были обнаружены Генрихом Шлиманом в 1890 г. при раскопках Трои. Линзы с разным увеличением из стекла были найдены в Саргоне (Месопотамия) — они датируются 400—600 гг. до н. э. В музее Грузии в Тбилиси имеется уникальная античная линза диаметром 45 мм из горного хрусталя, изготовленная в начале IX в. н. э.

Глава 1

ТВОРЦЫ ПРИКЛАДНОЙ ОПТИКИ

ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ, ЕГО ПРЕДШЕСТВЕННИКИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛИ

Многие исследователи недооценивают вклад Леонардо да Винчи в прикладную оптику. Происходит это, вероятно, потому, что многие его идеи не были поняты современниками, впоследствии были забыты и не оказали сколько-нибудь существенного влияния на развитие этой области знания. Между тем именно Леонардо да Винчи первым применил естественнонаучные знания для создания оптических приборов [1]. В этом его несомненная заслуга. Чтобы по достоинству оценить большое значение исследований Леонардо да Винчи в области оптики, необходимо хотя бы вкратце остановиться на основных достижениях его предшественников и последователей.

Практическая оптика зародилась еще в глубокой древности. До нашего времени сохранилось немало доказательств существования в древности зажигательных стекол и зеркал. С их помощью, например, получали «чистый» жертвенный огонь. Зажигательное действие, производимое с помощью собирающей линзы, описывает в V в. до н. э. Аристофан в комедии «Облака». О зажигательном действии стеклянных шаров пишут также Плиний и Сенека. Древняя легенда повествует о сожжении вражеского флота Архимедом с помощью системы зеркал. Этот эпизод описан в сочинении К. Галена «О темпераментах» [2] и в произведении И. Цецена «Тысячи» [3].

Легенда о сожжении Архимедом с помощью зеркал неприятельского флота была подтверждена греческим инженером Иоаннисом Саккасом. В ноябре 1973 г. он провел серию опытов, в которых использовал отполированные до зеркального блеска щиты. По сигналу Саккаса солдаты, держащие щиты, направляли лучи, отраженные от них, на деревянные модели древнеримских кораблей. Саккас провел пять опытов. В последнем, пятом, опыте,



ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ
(1452—1519)

проведенном 6 ноября 1973 г. в 12 ч дня, число зеркал было 70, а расстояние до модели составляло 55 м. В течение двух-трех минут модели древнеримских кораблей загорались¹.

Отметим, также, что при исходных данных: число зеркал 70, размер зеркал $1,3 \times 1$ м, расстояние от зеркал до модели 55 м — энергетический расчет по формуле Манжена также дает положительный результат.

Учеными древности — Евклидом и Аристотелем — были установлены основные законы оптических явлений: прямолинейное распространение света, отражение световых лучей от зеркальной поверхности, преломление лучей на границе двух прозрачных сред, например при пере-

¹ Об опытах И. Саккаса сообщили газеты: Правда (17.I. 1973 г.), Труд (7.XII. 1973 г.), Нью Йорк Таймс (11.XI. 1973 г.), Таймс (26.XI. 1973 г.).

VITELLONIS THV- RINGOPOLONI OPTI- CAE LIBRI DECEM

Instaurati, figuris nouis illustrati atque aucti: infinitisq; erroribus,
quibus antea scatebant, expurgati.

A'

FEDERICO RISNERO.



BASILEAE

Рис. 1. Сожжение Архимедом вражеских кораблей при помощи зеркала. Старинная гравюра из книги Вителло «Перспектива». Издана в Базеле в 1572 г.

ходе из стекла в воздух. Начиная с Герона Александрийского все ученые стали разделять оптику на «Диоптрику», т. е. науку о преломлении, и «Катоптрику», т. е. науку об отражении.

Интересно отметить, что, несмотря на явный интерес древних ученых к природе и свойствам света, оптических приборов они не создали. Связано это прежде всего с незнанием ими строения глаза и механизма зрения. Возможность получения действительных изображений с помощью оптических приборов также была им неизвестна.

Положение изменилось в средние века, когда Альхазену удалось установить факт существования и возможность получения действительных изображений при помощи зеркал и прозрачных преломляющих сред.

В 1572 г. в Базеле был переведен на латинский язык и издан трактат Альхазена «Сокровище оптики». Он разделен на семь книг, из которых три посвящены глазу и зрению. Особый интерес представляет последняя книга: она трактует вопросы преломления света в прозрачных телах. Однако вопрос о преломлении света в линзе Альхазен не рассматривает.

Альхазен также внес некоторое уточнение формулировки закона отражения света. Им было установлено, что падающий на поверхность зеркала луч, нормаль к этой поверхности и отраженный от зеркала луч лежат в одной плоскости. Закон отражения света Альхазен проверял на зеркалах, изготовленных из железа.

Однако, как бы ни был важен шаг, сделанный Альхазеном, он не сумел увидеть того огромного практического применения, которое могли получить его «прозрачные сферы» из горного хрусталя и стекла и его шаровые сегменты.

В XIII в. появляются первые серьезные исследования по оптике и в Европе. Наиболее известны работы в этой области Роджера Бэкона (1214—1294). «Много места, — пишет С. И. Вавилов, — посвящает он задачам о преломлении в линзах и зеркалах, однако без существенного прогресса. Можно отметить только полную ясность в отношении положения фокуса зажигательного вогнутого зеркала. Бэкон устанавливает неопределенность фокуса для глубокого сферического отражателя и его однозначность для параболического зеркала» [4, с. 241]. Большой заслугой Бэкона является также то, что им было дано строгое математическое доказательство наличия продоль-

ной сферической аберрации у вогнутого сферического зеркала.

Оптика Бэкона изложена им в трактате «Opus Majus» («Большой труд»), который был впоследствии издан [5], а также в ряде других его произведений. Так же как и Альхазен, Бэкон строил свои оптические положения не на основе опыта, а чисто теоретически — геометрическими построениями. При этом Бэкону было свойственно увлечение фантастическими идеями и мистикой. «Зеркала, — пишет Бэкон, — могут быть устроены и поставлены так, чтобы отражать предмет любое число раз; и тогда вместо одного человека или одного войска нашим глазам явится несколько. Можно было бы устраивать приспособления в этом роде на пользу отечеству или на страх еретикам. А если бы кто сумел уплотнить воздух так, чтобы он отражал световые лучи, то получилось бы много необычайных явлений. Ведь полагают же, что демоны показывают людям лагеря, войска и разные другие чудеса. Мало того, можно было бы посредством зеркал обнаруживать сокровеннейшие действия в отдаленных местах, городах и войсках» [6, с. 84].

Вместе с тем Бэкон был ученым, провозгласившим совершенно новые принципы научного знания. Предвидя будущие успехи экспериментальной науки, он пишет: «Расскажу о дивных делах природы и искусства, в которых нет ничего магического. . . Прозрачные тела могут быть так обработаны, что отдаленные предметы покажутся приближенными. . . так, что на невероятном расстоянии будем. . . различать мельчайшие вещи, а также будем в состоянии усматривать звезды, как пожелаем» [7, с. 77—78].

Читая эти строки, трудно себе представить, что почти 700 лет назад, во времена инквизиции, гениальный монах мечтал о телескопе! Его мечта была научной фантазией.

В трилогии, написанной Р. Бэконом по просьбе папы Климента IV: «Малый труд», «Большой труд» и «Третий труд», — много страниц посвящено оптическим темам, причем встречаются такие места, по которым можно предположить, что Бэкону были известны некоторые конструкции зрительных труб. «Таким образом, — пишет он, — увеличивая зрительный угол, мы будем в состоянии читать мельчайшие буквы с огромных расстояний и считать песчинки на земле, так как видимая величина обусловливается не расстоянием, а зрительным углом. Маль-

чик может казаться великаном, а взрослый горой» [6, с. 84].

По мнению С. И. Вавилова, «такие строки на самом деле, вероятно, выражают только догадки и научные фантазии, которых не чуждался увлекающийся «*Doctor Mirabilis*» («Дивный доктор» — так звали Бэкона его современники. — В. Г.), сообщавший читателю вместе с оптическими теоремами, например, сведения о летающих драконах и их пещерах» [4, с. 241—242].

В 1271 г. польский физик Вителло написал трактат по оптике в 10 книгах. Издан он был, однако, только в 1533 г. В своем трактате Вителло приводит описание многочисленных опытов. Следует отметить, что многие идеи и опыты, описанные Вителло, заимствованы им у Альхазена.

Несмотря на существование в XIII в. достаточного количества теоретических трудов по оптике, практическая оптика, особенно в части применения линз, развивалась крайне слабо. Взаимосвязи между наукой и практикой в оптике по сути дела не существовало. Подтверждением этого является изобретение в конце XIII в. очков в Италии (чисто эмпирическим путем).

Как появились очки, которые Ф. Энгельс называл в числе важнейших изобретений XIII в. [8, с. 507].

Итальянские мастера XIII в. были известны во всем мире как искусные шлифовальщики и полировщики. В процессе своей работы они часто подносили изделия своего труда близко к глазам (с целью контроля качества обработки поверхности материала). Поэтому изобретение ими очковых линз было вполне естественным явлением: линзы облегчали работу, давали возможность рассматривать даже мелкие детали изготавливаемых изделий. В то же время ученые — оптики XIII в. — совершенно не способствовали изобретению очков. «Между тем, — отмечает С. И. Вавилов, — дело шло не о мелочи, а о самом замечательном результате оптики за многие века ее существования не только в практическом смысле, но и в отношении теоретических перспектив. Если бы стал известен подлинный изобретатель очков, имя его, несомненно, занимало бы одно из самых почетных мест в истории науки о свете» [4, с. 242].

Почему случилось так, что очковые линзы были открыты случайно простым стекольным мастером? Почему ученые-оптики, имевшие к этому времени достаточный

объем знаний, не только не участвовали в изобретении очков, но и считали это изобретение вредным? «Основная цель зрения — знать правду, линзы для очков дают возможность видеть предметы большими или меньшими, чем они есть в действительности; через линзы можно увидеть предметы ближе или дальше, иной раз, кроме того, перевернутыми, деформированными и ошибочными, следовательно, они не дают возможности видеть действительность. Поэтому, если вы не хотите быть введенными в заблуждение, не пользуйтесь линзами» [9, с. 101]. Такую рекомендацию ученые-оптики давали, не зная механизма и природы зрения. «Очки, — пишет С. И. Вавилов, — несмотря на всю их удивительность для человека XIV и XV вв. и практическую важность, не сделались основой дальнейшего развития оптики. Книги Альхазена, Вителло, Бэкона мирно покоились в монастырских и университетских библиотеках, в университетах читались оптические курсы как часть повышенного курса, именитые люди исправляли свое зрение в старости очками, но оптическая наука в XIV и XV вв., если не говорить о перспективе, имевшей значение только для художников, стояла на месте» [4, с. 242].

Оптика развивалась как «чистая наука». Только в конце XV в. произошел резкий сдвиг в практическую область благодаря деятельности Леонардо да Винчи.

Его научные исследования касались широкого круга вопросов. Отличительной их особенностью было то, что все они были тесно связаны с практикой. «Когда будешь излагать науку... — писал Леонардо да Винчи, — не забудь под каждым положением приводить его практические применения, чтобы твоя наука не была бесплодна». Эта идея союза науки и практики нашла свое отражение и в трудах Леонардо да Винчи по оптике.

Сохранились многочисленные рукописи и рисунки Леонардо, относящиеся к оптике. Он уделил много внимания физиологической оптике (человеческий глаз, его строение, ход лучей в нем), фотометрическим исследованиям, геометрической оптике (построение хода лучей в линзах, в камере-обскуре, экспериментальный метод определения аберраций), технологии изготовления линз и зеркал.

Зеркала и линзы — предмет пристального изучения Леонардо. В 1509 г. им была предложена конструкция станка для шлифовки вогнутых зеркал и рассмотрены

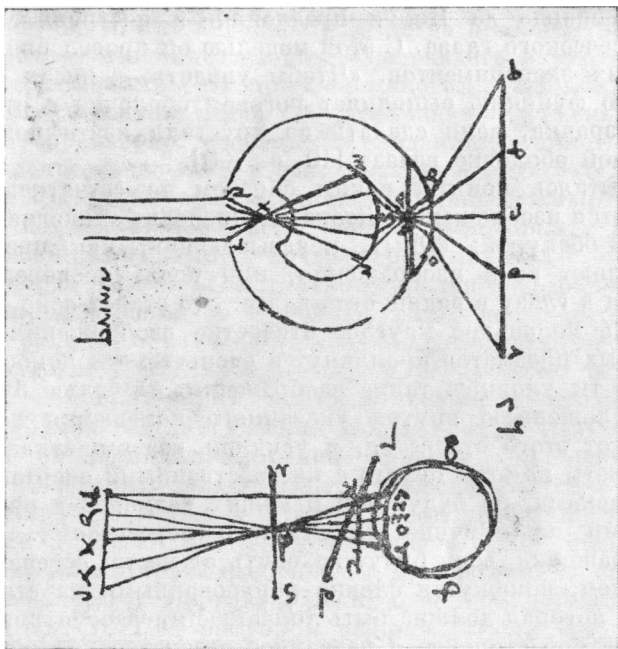


Рис. 2. Ход лучей и образование изображения в человеческом глазе. Рисунки Леонардо да Винчи

вопросы технологии изготовления очковых линз. Леонардо подробно описывает также изготовление параболических зеркал.

В манускриптах Леонардо да Винчи встречаются также вопросы aberrаций оптических систем, имеются рисунки, на которых изображены каустические поверхности. Им же дается экспериментальный метод определения aberrаций вогнутого сферического зеркала.

В вопросе о природе зрения и функциях глаза Леонардо да Винчи пошел значительно дальше своих предшественников (Альхазена, Вителло и др.). Им были поставлены и решены задачи построения хода лучей в глазе (рис. 2) и камере-обскуре, выявлены основные законы зрения, дано научное объяснение действия линз, зеркал и очков. Так как закон преломления света Леонардо да Винчи не был известен, то он не смог построить точного хода лучей в глазе.

Леонардо да Винчи предложил и построил модель человеческого глаза. С этой моделью он провел ряд интересных экспериментов. «Чтобы увидеть, — писал он, — какую функцию выполняет роговая оболочка в отношении зрачка, вели сделать из хрусталя нечто подобное роговой оболочке глаза» [10, с. 708].

Пытаясь понять, каким образом на сетчатке глаза строится изображение, Леонардо проводит аналогию с камерой-обскурой: «Опыт, показывающий, как предметы посылают свои изображения, или подобия, пересекающиеся в глазу в водянистой влаге. Это станет ясно, когда сквозь маленькое круглое отверстие изображения освещенных предметов проникнут в очень темное помещение; тогда ты уловишь такие изображения на белую бумагу, расположенную внутри указанного помещения неподалеку от этого отверстия, и увидишь все вышеуказанные предметы на этой бумаге с их собственными очертаниями и красками, но будут они меньших размеров и перевернутыми по причине упомянутого пересечения. Такие изображения, если будут исходить от места, освещенного солнцем, покажутся словно нарисованными на этой бумаге, которая должна быть тончайшей и рассматриваться с обратной стороны, а названное отверстие должно быть сделано в маленькой, очень тонкой железной пластинке» [10, с. 712].

Камера-обскура сыграла важную роль в оптике. С ее помощью стало понятным, что такое действительное оптическое изображение предмета. До открытия камеры-обскуры были известны только изображения на картинах художников и возникающие в глазу человека. Историческая роль камеры-обскуры состоит в том, что она четко разграничила понятия «свет» и «зрение».

В своих записях Леонардо подробно рассматривает вопросы аккомодации и адаптации глаза. Так, в манускрипте «Д» (л. 5 об.) читаем: «Зрачок глаза получает столь разнообразные размеры, сколь разнообразна светлота и темнота предметов, которые предстают перед ним. В этом случае природа пришла на помощь зрительной способности, которая, будучи поражена чрезмерным светом, имеет возможность сокращать зрачок глаза и, поражаемая различной темнотой, шире раскрывать это светлое отверстие, наподобие отверстия кошелька. И природа поступает здесь как тот, у кого в помещении слишком много света, — закрывающего половину окна, больше

и меньше, смотря по надобности; и когда приходит ночь, он открывает все окно, чтобы лучше видеть внутри названного помещения. И природа прибегает здесь к постоянному выравниванию... увеличивая и уменьшая зрачок, соразмерно названным градациям темноты и света, непрестанно перед ним возникающим. Ты убедишься в этом на опыте, наблюдая nocturnal животных, каковы кошки, филины, совы и т. п., у которых в полдень зрачок маленький, а ночью огромный» [10, с. 723].

Леонардо да Винчи не только старался дать объяснение природе зрения и строению глаза, но и пытался решить вопрос об улучшении зрения. Недостатки зрения (дальнозоркость и близорукость) он рекомендует исправлять с помощью очков, которым посвящены страницы его рукописи «Атлантический кодекс» [11]. Изучение свойств бинокулярного зрения привело Леонардо да Винчи к созданию около 1500 г. стереоскопа.

Леонардо да Винчи — один из основоположников фотометрии. В его «Атлантическом кодексе» (с. 22) имеются рисунки, на которых изображены два источника света, расположенные у противоположных концов деревянной доски (рис. 3). Под рисунком подпись: «Если источник света XV находится на том же расстоянии, что и источник света VY, различие между тем и другим светом будет такое же, как и между величиною их источников. Но если большой источник света удален от источника тени, а малый находится по соседству, то бесспорно, что тени смогут сравняться по темноте или светлости... Отношение темноты тени *ab* к тени *be* будет такое же, как и отношение расстояний источников света между собою, т. е. *nt* к *mf*... Тот источник тени отбросит две производные тени равной темноты, у которого будут два источника света равной величины, удаленные от него на одинаковое расстояние» [10, с. 650]. Рисунки Леонардо и пояснения к ним дают основания полагать, что он экспериментировал также с фотометрической установкой типа Румфорда.

Кроме того, в «Атлантическом кодексе» имеются очень интересные рисунки Леонардо да Винчи с изображением конструкций осветительных устройств. Он является также изобретателем лампового стекла.

Далее, в манускриптах Леонардо да Винчи встречаются интересные мысли о создании телескопических систем. «Несомненно, — пишет С. И. Вавилов, — что Леонардо не только мечтал о телескопических устрой-

ствах, но действительно их осуществлял» [4, с. 247]. Подтверждением этого служат рисунки Леонардо да Винчи и подписи к ним. Кроме того, в рукописи «Атлантический кодекс» (л. 190а) читаем: «Сделай очковые стекла для глаз, чтобы видеть Луну большой» [10, с. 729]. Если вспомнить, что практическая конструкция телескопа была создана Г. Галилеем в 1609 г., а указанные выше строки написаны Леонардо да Винчи в конце XV в., все это представляется весьма интересным. Однако нет никаких прямых указаний на то, что Леонардо занимался конструированием телескопа. Был ли им создан телескоп или нет, неизвестно.

Знакомство с научным наследием Леонардо в области оптики интересно и для современных исследователей. В этом отношении к Леонардо полностью относятся слова гениального русского физиолога И. П. Павлова: «Прорвавшаяся страстью дышит период, недаром названный эпохой Возрождения, период начала свободного художества и свободной исследовательской мысли в новейшей истории человечества. Приобщение к этой страсти всегда останется могучим толчком для теперешней художественной и исследовательской работы. Вот почему художественные и научные произведения этого периода должны быть постоянно перед глазами теперешних поколений» [12, с. 1023].

После работ Леонардо да Винчи средневековые не оставило сколько-нибудь систематических исследований по оптике. В этой области знаний царилла большая путаница. Возможно, именно поэтому итальянский математик и физик Франческо Мавролик (1494—1575) побоялся опубликовать свое оригинальное исследование по оптике. Первая часть этого труда была завершена к 1521 г., вторая — в 1554 г., но опубликован он был лишь после смерти Мавролика, в 1611 г.

В первой части трактата Мавролика рассматривались вопросы геометрической оптики: прямолинейное распространение света, его отражение от плоских, сферических, цилиндрических и конических зеркал; во второй — преломление света, явление радуги, строение глаза, механизм зрения и принцип действия очков. В этой части своего труда Мавролик принимает теорию зрения Альхазена, основываясь при этом на более точном представлении о природе зрения и строении глаза. Он считает, что лучи преломляются в хрусталике глаза и вызывают ощу-

щения на его сетчатке. Таким образом, Мавролик считает, что хрусталик глаза работает как линза. Однако ему не хватает мужества признать, что изображение на сетчатке глаза получается перевернутым, и он с помощью серии ухищрений пытается показать, что изображение на сетчатке получается прямым. В теории зрения Мавролику принадлежит также заслуга в объяснении причин дальновзоркости и близорукости.

Исследуя прозрачные тела, ограниченные с двух сторон сферическими поверхностями (т. е. линзы), Мавролик устанавливает, что выпуклые линзы являются собирательными, а вогнутые — рассеивающими. Изучая преломление света в линзах, Мавролик вплотную подходит к явлению сферической аберрации и даже делает попытки его изучения. К сожалению, труд Мавролика был опубликован лишь через 57 лет после его написания и поэтому не смог оказать заметного влияния на развитие практической оптики той эпохи.

Дело, начатое Леонардо да Винчи и Мавроликом, было продолжено их соотечественником Джованни Баттиста де ла Порта (1535—1615). Оптическим исследованиям посвящены два его произведения: «Натуральная магия» и «О преломлении». В них Порта делает попытку построения хода лучей в линзах, а в книге «О преломлении» даже приводит оптическую систему телескопа. Он утверждает, что ему удавалось видеть на большом расстоянии мелкие предметы, однако при этом никаких доказательств не приводит.

Свой приоритет в изобретении зрительной трубы он продолжает отстаивать и в письме, написанном 28 августа 1609 г. в Академию деи Линчем в Рим князю Федерико Чези: «Я знаю секрет зрительной трубы, это пустяк, взятый из девятой книги моей «*De refractione*», и уверяю Вас, что если Ваше сиятельство захотите ее сделать, то получите чистое удовлетворение. Это труба из посеребренного олова длиной в локоть *ad*, диаметром в три дюйма, в ее начале *a* находится выпуклое очковое стекло; имеется другая труба в четыре дюйма длиной, входящая в первую, с закрепленным вогнутым стеклом на конце *b*, как у первой трубы. Если смотреть только через первую трубу, то можно видеть вещи далекие и близкие, но так как зрение происходит не прямо, то предметы кажутся темными и неотчетливыми. Если же поместить внутрь другую трубу с вогнутым стеклом, вызывающим противополож-

ное действие, то предметы видны ясными и прямыми. При этом вторая труба должна входить в первую, как в тромбоне, для установки по глазу смотрящего» [4, с. 252]. Это письмо сопровождалось рисунком трубы по «схеме Галилея». Однако ни в девятой, ни в восьмой книгах «De refractione» нет ничего такого, о чем писал де ла Порта, и поэтому вопрос о его приоритете в изобретении зрительной трубы является недоказанным.

Первая зрительная труба появилась лишь на рубеже XVI и XVII вв. [13]. Изобретению этого оптического инструмента и разработке его теории мы обязаны прежде всего Г. Галилею и И. Кеплеру.

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

Великий итальянский ученый Галилео Галилей родился 15 февраля 1564 г. в г. Пизе в небогатой дворянской семье. Еще в детстве он обнаружил большую склонность к механике, конструируя модели различных механизмов. В возрасте 17 лет он поступает на медицинский факультет университета в Пизе. Однако вскоре покидает стены этого университета и начинает самостоятельно изучать сочинения Евклида, Аристотеля, Архимеда, Платона и других классиков науки. У Галилея появляется много друзей — любителей науки, среди которых оказывается и маркиз Гвидобальдо дель Монте. Последний помогает Галилею получить в 1589 г. сначала должность профессора математики в Пизанском университете, а впоследствии — в 1592 г. — кафедру математики в Падуинском университете.

В исследованиях по истории оптики имя Г. Галилея обычно упоминается в связи с изобретением телескопа и гораздо реже — микроскопа. Между тем прогресс в развитии прикладных исследований в оптике в значительной степени связан именно с именем Галилея. Его «Звездный Вестник», вышедший в 1610 г., послужил могучим стимулом к созданию разнообразных конструкций телескопов, явившихся новым и эффективным средством изучения Вселенной.

Свой первый телескоп, состоящий из двух линз (положительной и отрицательной), Галилей создает в 1609 г. на основании дошедших до него сведений об изобретенной в Голландии в конце XVI—начале XVII в. зрительной трубе [13].



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ
(1564—1642)

Сам Галилей так описывает в «Звездном Вестнике» свое изобретение: «Месяцев десять тому назад дошел до наших ушей слух, что некий бельгиец построил перспективу², при помощи коей видимые предметы, далеко расположенные от глаз, становятся отчетливо различными, как будто бы они были близкими. Сообщалось

² Термин «телескоп» был введен несколько позже филологом Домесини (1576—1614) по просьбе председателя римской «академии рысьеглазых» князя Федерико Чези. В первых своих работах Галилей пользуется терминами «Perspicillum» либо «Oschiale» («подзорная труба», а на современном итальянском языке — «очуляр»). Аналогичной терминологией пользовался и Леонардо да Винчи.

об опытах с этим удивительным прибором, одни их подтверждали, другие отрицали. Несколько дней спустя это было подтверждено мне в письме французским дворянином Джакомо Бальдоверо из Парижа. Это и было причиной, по которой я обратился к изысканию оснований и средств для изобретения сходного инструмента. Вскоре после сего, опираясь на учение о преломлениях, я постиг дело и сначала изготовил свинцовую трубу, на концах коей я поместил два очковых стекла, оба плоских с одной стороны, с другой стороны одно стекло было выпукло-сферическим, другое же вогнутым. Помещая за сим глаз у вогнутого стекла, я видел предметы достаточно большими и близкими, именно они казались в три раза ближе и в десять раз больше, чем при рассматривании естественным глазом. После сего я разработал более точную трубу, которая представляла предметы увеличенными больше чем в шестьдесят раз. За сим, не жалея никакого труда и никаких средств, я достиг того, что построил себе орган, настолько превосходный, что вещи казались через него при взгляде почти в тысячу раз крупнее и более чем в тридцать раз приближенными, чем при рассматривании с помощью естественных способностей» [14, с. 256].

Вскоре после изготовления своего первого телескопа Галилей строит второй, более совершенный инструмент, который он демонстрирует в Венеции при дворе дожа. С башни св. Марка в этот телескоп смотрели многие представители дворянства республики. Имя Галилея приобрело известность и популярность.

Несмотря на то что Галилея нельзя считать первым создателем телескопа, он несомненно является первым, кто создал этот инструмент на научной основе, пользуясь теми знаниями, которые были известны в оптике к началу XVII в. «Рассуждение мое, — писал Галилей, — было таким: это сооружение состоит или из одного стекла, или более чем из одного. Оно не может состоять только из одного. Фигура стекла или выпуклая, т. е. более толстая в середине, чем к краям, или вогнутая, т. е. более тонкая в середине, или же ограничена параллельными поверхностями; такое стекло совсем не изменяет видимых предметов увеличением или уменьшением, вогнутое их уменьшает, а выпуклое их значительно увеличивает, показывает очень неотчетливыми и искаженными. Посему одного стекла недостаточно для получения эффекта. Я перешел затем к двум стеклам и, зная, что стекло с параллель-

ными поверхностями ничего не изменяет, как сказано, заключил, что эффект не может также произойти от сочетания его с каким-нибудь из двух остальных. Посему я захотел испытать, что получается из соединения двух остальных, т. е. выпуклого и вогнутого, и увидел, что при этом искомое получается. Таков ход моего открытия. . . Но если. . . прочие полагают, что несомненность заключения очень облегчает нахождение способа осуществления эффекта, то пусть они почитают истории о том, как Архит изобрел летающего голубя, а Архимед — зеркало, сжигающее на громадных расстояниях, и прочие удивительные машины на основании того, что рассказывалось другими о зажигании вечного огня и о сотнях иных удивительных вещей. Рассуждая об этом, они могли легко к величайшей славе их и с пользой изобрести устройства или, по крайней мере, когда это не удавалось, находили другие благодеяния. Отсюда лучше уясняется, что легкость, которая будто бы возникает от предварительного знания действительности эффекта, на самом деле много меньше, чем думают» [4, с. 257—258].

Галилей создал телескопическую систему из двух линз: одной выпуклой и одной вогнутой. Возникает вопрос: почему Галилей не создал систему из двух выпуклых линз? «Возможно потому, — отвечает на этот вопрос С. И. Вавилов, — что, исходя из своей логической схемы, он сразу начал с возможно более сложного случая. Из рассказов Галилея далее следует, что у него не было никаких новых теоретических представлений о действии сферических линз по сравнению с тем, что знали Леонардо, Мавролик и де ля Порта. Отличие от предшественников состояло прежде всего в живом, ясном и широком понимании Галилеем возможностей нового инструмента для мореходства, военного дела и астрономии. Для Леонардо и де ля Порта зрительная труба была одним из фокусов «натуральной магии», вроде камеры-обскуры и «магических» зеркал. Галилей передает в полном соответствии с действительностью, с какой неслыханной быстротой он сумел по одному намеку найти схему трубы, усовершенствовать ее, доведя увеличение до очень больших размеров, и без промедления реализовать основные применения ее. Эти черты открытия Галилея и делают его несравнимым по значению с открытиями Леонардо и де ля Порта, прошедшими незамеченными не только для

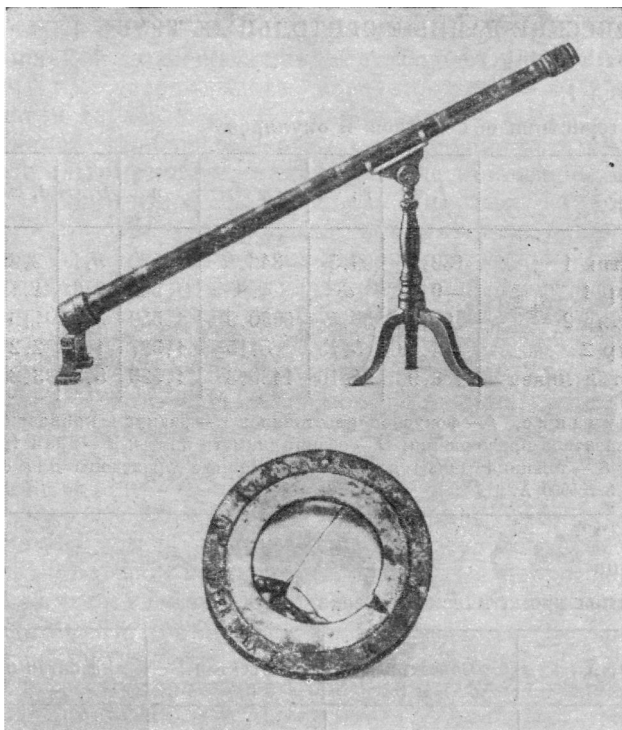


Рис. 4. Зрительная труба Г. Галилея из Музея истории науки во Флоренции (в нижней части рисунка разбитый объектив зрительной трубы Г. Галилея, изготовленной им в 1609 г.)

современников, но и, по сути дела, для самих авторов» [4, с. 259].

Две зрительные трубы Галилея и разбитый объектив третьей хранятся в настоящее время в Музее истории науки во Флоренции (рис. 4). Астрономические наблюдения, проведенные в мае 1923 г. с помощью этих зрительных труб, показали, что первая из них имела разрешающую способность $20''$ и поле зрения $15'$, а вторая — соответственно $10''$ и $15'$. Полученные результаты измерений оптических характеристик всех линз зрительных труб Галилея сведены в табл. 1 и 2. Увеличение первой трубы было $14\times$, а второй $19,5\times$. Третья зрительная труба, от которой сохранился только разбитый объектив, при

ОПТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ ТРУБ ГАЛИЛЕЯ [15]

Таблица 1

Характеристики объективов и окуляров

	f , см	r_1 , см	r_2 , см	n	D , см	d , см	S , см
Объектив 1	132,7	99,5	346,5	1,580	5,1	2,6	0,25
Окуляр 1	—9,52	∞	4,85	1,509	2,6	1,1	0,30
Объектив 2	95,6	53,5	5050,0	1,550	3,7	1,6	0,20
Окуляр 2	—4,88	5,15	5,15	1,527	1,7	2,2	0,18
Разбитая линза	168,9	94,16	1436,3	1,523	5,8	3,8	0,40

Примечание. f — фокусное расстояние; r — радиусы кривизны линз; n — показатель преломления; D — общий диаметр линзы; d — диаметр диафрагмы; S — толщина линзы в середине. Данные приведены для средней зоны и $\lambda = 5500 \text{ \AA}$.

e

Таблица 2

Величины хроматических аберраций

λ , Å	Объектив 1	Объектив 2	Разбитая линза
4500	130,4	93,8	166,3
5000	131,7	95,0	167,8
5500	132,7	95,6	168,9
6000	133,3	96,2	169,7
6500	133,7	96,5	170,2
7000	133,9	96,9	170,5

применении окуляров первой и второй зрительных труб имела бы соответственно увеличение $17,8^\times$ и $34,6^\times$ [15].

Создание Галилеем телескопа ознаменовало собой подлинную революцию в оптике. Характерной особенностью этой революции явилось то, что существенное значение в ней стала играть техника. Оптика Галилея имеет принципиальное отличие от оптики, существовавшей до него. Именно он понял, что качество изготовления линз для очков и для зрительных труб должно быть совершенно различно и использование очковых линз в зрительных трубах совершенно неприемлемо. Начиная с 1609 г.

кустарная техника изготовления очков и техника точного изготовления линз обособляются. Точная оптика входит в науку как новое средство познания мира и становится предметом изучения выдающихся деятелей XVII в.

Галилей усовершенствовал технологию изготовления линз до такой степени, какой она еще никогда не достигала. Очень интересна переписка Галилея, из которой видно, как хорошо он понимал, что для зрительной трубы техника обработки очковых линз недостаточна. Галилей смог создать инструмент, увеличивающий в 32 раза, в то время как все существовавшие до него зрительные трубы давали увеличение лишь в 3—6 раз.

Астрономические исследования Галилея при помощи телескопа (открытие спутников Юпитера, сложности структуры Млечного Пути, гор на Луне и др.) принесли ему большую славу. Сбылось давнее желание Галилея освободиться от преподавательской деятельности и заняться наукой. Он получает приглашение от тосканского герцога Козимо II Медичи стать придворным философом и поселяется во Флоренции. Здесь при дворе герцога он продолжает свои астрономические наблюдения, которые приводят его к открытиям фаз Венеры, пятен на Солнце, его вращения.

Галилею принадлежит приоритет в конструировании другого оптического инструмента — сложного микроскопа. Он создал его в Падуе в собственной мастерской. Занимаясь конструированием раздвижных зрительных труб, Галилей заметил, что при соответствующем расстоянии между линзами можно видеть увеличенными не только удаленные, но и близко расположенные предметы. Об этом в 1610 г. писал современник Галилея шотландец Джон Уоддерборн: «Несколько дней назад я слышал, как сам автор (Галилей. — В. Г.) сообщал Сиятельному Синьору Кремоне различные вещи и, между прочим, каким образом при помощи своей перспективы он прекрасно различает органы движения и чувств мелких животных» [4, с. 262—263]. Об использовании Галилеем микроскопа при наблюдении насекомых имеется запись и в дневниках путешественника в 1614 г. по Италии Жана Тарда.

Имеются упоминания о микроскопе и в письмах самого Галилея. Так, в письме Федерико Чези от 23 сентября 1624 г. Галилей писал: «Посылаю Вашему Превосходительству микроскоп для рассмотрения вблизи мельчайших

предметов. Надеюсь, что Вы найдете в этом также немалое удовольствие, как и я. . .» [4, с. 263].

В упомянутом письме к Чези сообщались также некоторые подробности о конструкции самого микроскопа, свидетельствующие о его сложности и особенностях наводки на резкость. В Музее истории науки во Флоренции хранятся два микроскопа, очень похожих на описываемые Галилеем.

Галилей был замечательным оптиком своего времени. Деятельность его в этой области характеризовалась разносторонностью и широким научным кругозором. К великому сожалению, преследования инквизиции помешали Галилею систематизировать исследования по инструментальной оптике в единой книге.

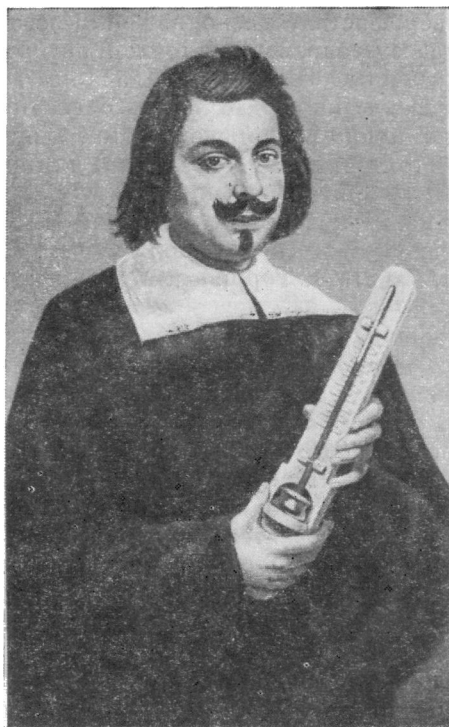
Инквизиция преследовала Галилея вплоть до самой его смерти, последовавшей 8 января 1642 г. на вилле Арчетри недалеко от Флоренции.

ЭВАНДЖЕЛИСТА ТОРРИЧЕЛЛИ

Э. Торричелли родился в 1608 г. в городе Фаенце (Италия). Получив в Риме довольно хорошее образование, он рано обнаружил интерес к точным наукам — математике и физике. Дальнейшее обучение Торричелли проходило под руководством одного из ближайших учеников Галилея Бенедетто Кастелли [16]. Через своего учителя Торричелли познакомился с Галилеем, который высоко оценил его знания и пригласил на свою виллу в Арчетри. После смерти Галилея великий герцог тосканский назначает Торричелли на должность придворного математика. Торричелли переезжает во Флоренцию и работает там до своей кончины, последовавшей в 39-летнем возрасте.

Основные научные труды Торричелли относятся к физике и математике. Однако по примеру своего учителя он не избегал и практической деятельности.

Научившись у Галилея искусству шлифовки линз и изготовления телескопов, Торричелли начиная с 1642 г. сам занимается этим. Он ищет прежде всего ответ на вопрос: как проверить точность изготовления линз? Именно на этот вопрос не могли ответить оптики первой половины XVII в., так как им не были известны такие оптические явления, как интерференция и дифракция. Поэтому результат их работы целиком зависел от случая.



ЭВАНДЖЕЛИСТА ТОРРИЧЕЛЛИ
(1608—1647)

Единственно, что можно было сделать, это тщательно отбирать лучшие линзы из большого числа изготовленных и запоминать последовательность и методику тех операций, которые приводили к наилучшему результату. Секрет контроля качества обработки линз было суждено открыть Торричелли.

Здесь уместно сделать небольшое отступление. «В 1923 г., — пишет известный итальянский оптик В. Ронки, — после того как мы разработали новый, интерференционный метод испытания оптических систем, мы решились при помощи этого метода исследовать несколько линз из великолепной коллекции, хранящейся в Музее истории науки во Флоренции. Среди них была линза 83 мм в диаметре, которая поразила нас высокой

степенью совершенства, позволявшей безоговорочно отнести ее к классу современной точной оптики. Это была линза Эванджелисты Торричелли, как явствовало из ее картонного обрамления с датой: 1646 г. Прикрепленная этикетка напоминала о применении этой линзы при интересных обстоятельствах: «Объектив, которым пользовались в 1660 г. при наблюдениях Сатурна, чтобы выяснить, какая из двух систем, Евгения (Гюйгенса) или Фабри, лучше соответствует наблюдаемым особенностям этой планеты. Работа Э. Торричелли. Флоренция, 1646 г.» [17, с. 289].

Как произошло, что почти три столетия назад итальянским ученым-мастером была сработана линза, не уступающая по точности изготовления современным линзам? Может быть, это была чистая случайность — результат долгого и кропотливого отбора из сотен и тысяч уже изготовленных линз? Письма, оставшиеся после смерти Торричелли, говорят, что это не было случайностью.

Первые сведения о деятельности Э. Торричелли в области оптики относятся к концу 1641 г. В письме к Бонавентура Кавальери в Болонью от 25 октября 1642 г. он писал: «...я потом понял, что Ваше Преподобие имеет какие-то соображения относительно формы очковых стекол. Умоляю Вас сообщить что-либо, но без доказательств, давая только вывод — не для философствования, а для работы. Я тружусь исходя из некоторых соображений Галилея и своих собственных. До сих пор я переступал границу посредственности, но еще не достиг качеств стекол Фонтаны» [17, с. 290].

В начале февраля 1644 г. Торричелли пишет несколько писем своим друзьям. Из письма, отправленного в адрес Р. Маджотти, следует, что Торричелли уже к этому времени достиг своей цели, а именно ему удалось научиться делать линзы не хуже, а даже лучше «стекол Фонтаны»³. «В конце концов после тысячи бесплодных рассуждений и тысячи воздушных замков (благодарение богу!) изобретение, касающееся стекол, у меня в руках. Мне приятно: этот неаполитанец наконец заметил, что великий герцог имеет у себя в доме человека, который делает столько же и еще больше, чем он. За несколько последних дней я один

³ Франческо Фонтана из Неаполя — один из наиболее известных итальянских мастеров-оптиков XVII в.

обработал шесть стекол, из них четыре получились с явным дефектом, а два других были подвергнуты сравнению с отличнейшим стеклом, принадлежащим великому герцогу и изготовленным Фонтаной, причем между ними не оказалось ни малейшей разницы, кроме разве той, что последнее было наилучшим из тысячи стекол, изготовленных Фонтаной на протяжении тридцати лет, а мои были выбраны из шести, сделанных на протяжении восьми дней. Я надеюсь продвинуться еще вперед, хотя великий герцог мне и говорит, что он и так доволен, а не далее чем вчера собственноручно передал мне цепь в 300 скуди с медалью и надписью: «Награда доблести. . .». Я надеюсь, что вам это будет приятно и послужит поощрением к дальнейшему. Мне очень не нравится, что я не могу дать разъяснения, поскольку великий герцог приказал мне молчать и сохранять секрет. Что мое изобретение не отличается от изобретений Фонтаны, мне кажется почти исключено, и я готов биться об заклад, что его изобретение не может сравниться с моим. . .» [17, с. 292]. Торричелли принял все меры, чтобы сохранить секрет в тайне до самой своей смерти.

В сохранившихся письмах Торричелли обращают на себя внимание по крайней мере два обстоятельства: во-первых, линзы Торричелли действительно были лучшими из всех существовавших при его жизни, во-вторых, Торричелли был уверен, что им был разработан способ обработки линз, лучше которого не было. Так, например, 1 декабря 1646 г. он писал: «. . .у меня их просили многие, и я думаю, что это повысит их цену; в конце концов всякий заявлял, что они хороши. Я послал их в Неаполь покровителям самого Фонтана, и так как они привыкли дорого за них платить, то прислали мне больше динаров, чем мне требуется, — дюжинами скуди за раз. . .» [17, с. 295].

Постараемся найти ответ на вопрос: в чем же заключается тот «секрет», которым обладал Торричелли? Ответ на него, очевидно, следует искать в тех средствах контроля обрабатываемых поверхностей линз, которыми Торричелли, видимо, владел. Но, когда Торричелли умер, Р. Гуку было 12 лет, а И. Ньютону — 5, поэтому явления интерференции и «колец Ньютона» Торричелли не были известны. В таком случае остается предположить, что он заметил интерференционные кольца, возникающие при притирке поверхности линзы с поверхностью формы,

и использовал их для оценки качества обрабатываемой поверхности. Подтверждением этого может служить письмо от 6 февраля 1644 г. к Микеланджело Риччи, в котором Торричелли сообщал следующее: «Вчера великий герцог великодушно почтил меня цепью в 300 скуди, так как ему чрезвычайно понравился мой способ обрабатывать стекла, найденный геометрическим путем, на основе как теории и исследования оных конических фигурок, так и науки о преломлении. . .» [17, с. 298].

«Вот почему, — пишет В. Ронки, — вполне уместно полагать, что в самом деле Торричелли нашел способ использовать цвета тонких пластинок в качестве критерия при обработке линз, имея таким способом возможность проверить правильность «фигур» настолько точно, чтобы утверждать, что никому никогда не удалось бы сделать лучше, чем он» [17, с. 300].

Спустя 13 лет после смерти Торричелли, когда в Академии дель Чименто во Флоренции возникла необходимость в создании телескопа для наблюдения колец Сатурна, в качестве объектива для этого телескопа была использована одна из линз Торричелли как самая лучшая из всего того, что имелось в то время. Эта линза сохранилась до наших дней и находится сейчас в Музее истории науки во Флоренции.

Кроме изготовления зрительных труб и телескопов, Торричелли занимался конструированием простых микроскопов, состоящих всего лишь из одной крохотной линзочки, которую он получал из капли стекла (видимо, расплавляя над пламенем свечи стеклянную палочку). Во второй половине XVII в. такие простые микроскопы получили довольно широкое распространение благодаря мастерству А. Левенгука, изготавливавшего их с большой виртуозностью.

Скончался Торричелли 14 октября 1647 г., так и не открыв своего секрета изготовления линз и не опубликовав ни одной работы по оптике.

ИОГАНН КЕПЛЕР

Кеплер родился 27 декабря 1571 г. в небольшом немецком городке Вейль дер Штадт в доме деда-бургомистра. В 1589 г. молодой Кеплер успешно сдает экзамены на степень бакалавра, а в 1591 г. получает магистерскую степень на факультете искусств в Тюбингенском университете.



ИОГАНН КЕПЛЕР
(1571—1630)

С 1594 г. Кеплер работает учителем математики и астрономии в школе в Граце (Штирия). Там он пишет свое первое крупное произведение «Тайна Вселенной» (1596 г.). В 1600 г. Кеплер переезжает в Прагу, где работает совместно с датским астрономом Тихо Браге. После смерти последнего, в 1601 г., Кеплер назначается преемником Браге и получает должность математика при императоре

Рудольфе II. Основные труды Кеплера были посвящены развитию гелиоцентрического учения Н. Коперника.

При изложении курсов современной прикладной оптики имя Кеплера упоминается обычно лишь в связи с предложенной им схемой зрительной трубы, состоящей из двух положительных линз. При этом забывается самое важное: именно Кеплером была создана первая научная теория оптических систем [18].

Кеплер был необыкновенно яркой личностью. Гёте писал о нем: «Когда историю жизни Кеплера сопоставляешь с тем, кем он стал и что он сделал, радостно изумляешься и при этом убеждаешься, что истинный гений преодолевает любые препятствия».

Интерес к прикладной оптике появился у Кеплера в связи с занятиями астрономией. Так, например, для наблюдения солнечного затмения он применяет камеру-обскуру. При этом он устанавливает, что форма изображения, получаемая на стенке камеры-обскуры, не зависит от конфигурации ее отверстия.

Первой оптической работой Кеплера, написанной им в 1604 г., было «Дополнение к Вителлию» [19], т. е. дополнение к широко известному в средние века трактату польского астронома Вителло, являвшегося, в свою очередь, компиляцией работ Альхазена, Евклида и Птолемея. В этой работе Кеплер рассматривает вопросы физиологической оптики и, в частности, устанавливает, что на сетчатке глаза образуется перевернутое действительное изображение. Таким образом Кеплер подводит завершение исследованиям Альхазена и Леонардо да Винчи о природе зрения и функциях глаза. В «Дополнении» Кеплер вводит ряд новых терминов: «сходимость» и «расходимость» световых пучков, понятие оптической оси и «фокуса» системы.

Далее Кеплер довольно подробно рассматривает вопрос о преломлении света в линзах и приходит к уравнению, связывающему фокусное расстояние линзы (f'), положение объекта на оптической оси линзы (a_1) и положение его изображения (a_2):

$$1/f' = 1/a_1 + 1/a_2.$$

Однако главным научным трудом Кеплера по прикладной оптике является «Диоптрика», написанная им в 1611 г. [20] под впечатлением тех открытий, которые были сделаны Галилеем с помощью его зрительной трубы.

Уже 15 марта 1610 г. Кеплер узнает об открытиях

Галилея и вскоре получает от него дарственный экземпляр его книги. По прочтении последней он пишет Галилею послание — знаменитый «Разговор со Звездным Вестником», в котором он рассматривает в числе прочих вопросов вопрос о конструкциях телескопов. Так у Кеплера возникает мысль создать зрительную трубу своей собственной конструкции (состоящую из двух положительных линз).

Всего за два месяца — август и сентябрь 1610 г. — Кеплер пишет «Диоптрику», в которой рассматривает многие вопросы прикладной оптики. В книге мы находим прежде всего рассказ об основных свойствах линз и их комбинаций. Кеплер дает четкое определение линзы, проводит их классификацию. Далее речь идет об определении фокусного расстояния линзы и выявляются закономерности, связывающие положение предмета и его изображения на оптической оси при одной и двух линзах.

До работ Кеплера в оптике была известна лишь одна комбинация линз — зрительная труба Галилея, состоящая из двух линз (отрицательной и положительной). Кеплер дает еще одну, принципиально новую схему зрительной трубы, состоящей из двух положительных линз (рис. 5). Кеплер ставит задачу следующим образом: «С помощью двух двояковыпуклых стекол получить отчетливые, большие, но обратные изображения». С помощью чертежа (рис. 5) Кеплер поясняет устройство и принцип действия его зрительной трубы, имеющей ряд преимуществ по сравнению с трубой Галилея: помимо большего поля зрения, она давала возможность получить в фокальной пло-

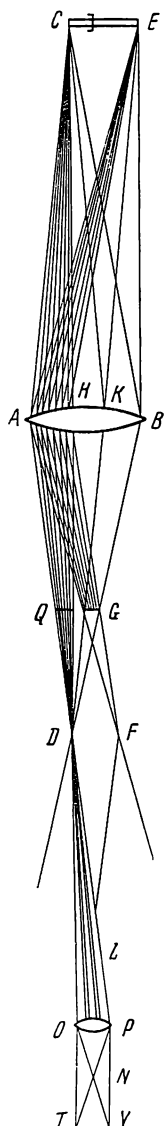


Рис. 5. Оптическая схема зрительной трубы. Рисунок И. Кеплера (1611 г.)

скости действительное изображение наблюдаемого объекта. Это позволяло использовать трубу Кеплера в качестве виртуального приспособления. Последнее значительно расширило возможности телескопа, превратив его из инструмента наблюдательного в инструмент измерительный.

Следующая задача, которую ставит и решает Кеплер, не менее интересна: «С помощью двух выпуклых линз получить прямое изображение отдаленного предмета на бумаге». Первым, кто воплотил эту идею Кеплера в жизнь, был Х. Шейнер, вероятнее всего не позднее 1613 г. сконструировавший свой «гелиоскоп», который он использовал для демонстрации солнечных пятен. Этим прибором пользуются и в наши дни.

Переходя к анализу качества изображения оптических систем, Кеплер отмечает, что в центральной части поля зрительной трубы изображение резче, чем на краях; что изображение, даваемое небольшой частью объектива, резче, чем при полном отверстии. Последнее наблюдение очень интересно, так как речь идет о диафрагмировании объектива.

В заключительной части «Диоптрики» Кеплер рассматривает схему трехлинзовой зрительной трубы, дающей прямое увеличенное изображение наблюдаемого объекта. Такая труба получила название «земной трубы».

В «Диоптрике» Кеплера мы впервые встречаемся с вопросами анализа и синтеза оптических систем. Анализируя оптические системы, Кеплер вплотную подходит к понятию сферической аберрации параллельного пучка лучей, падающего на преломляющую поверхность. Кеплер делает попытку найти такую форму преломляющей поверхности, которая бы исключала сферическую аберрацию и собирала бы все лучи в одной точке на оптической оси.

Таким образом, в «Диоптрике» Кеплера содержатся все основные понятия, лежащие в основе геометрической оптики, и то, что эта выдающаяся работа предана забвению, можно только сожалеть.

Вся жизнь Кеплера проходила в очень тяжелых материальных условиях. По словам А. Эйнштейна, «он жил в эпоху, когда еще не было уверенности в существовании некоторой общей закономерности для всех явлений природы. Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не поддер-

живаемый и не понятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования. . . » [21, с. 121].

РЕНЕ ДЕКАРТ

Среди оптиков XVII в. Рене Декарт занимает весьма почетное место. Еще в молодые годы у него возникла идея пересмотра всех наук и изыскания универсального метода, с помощью которого эта перестройка могла бы быть осуществлена. Поэтому нет ничего удивительного в том, что наиболее значительное произведение Декарта, посвященное точным наукам, называется «Рассуждение о методе. . . » [22]. Для нас это произведение тем более интересно, что в нем имеется специальный раздел «Диоптрика», в котором Декарт затрагивает многие вопросы, связанные с созданием и развитием теории построения и расчета оптических систем.

Первая часть «Диоптрики» была написана Декартом еще в 1632 г. В ней он одним из первых привел правильные сведения о строении глаза, механизме зрения и средствах его улучшения. Мы уже видели, насколько этот вопрос был важен для развития оптики: из-за незнания строения глаза и механизма образования изображения в нем ученые вплоть до XV в. считали очки и линзы не только бесполезными, но и вредными, искажающими действительность предметами.

Декарт подробно рассказывает, как устроен глаз, о процессах появления изображений на сетчатке. Говоря о механизме образования изображения, он проводит аналогию с камерой-обскурой, в отверстие которой вставлена линза. При этом следует учесть, что во времена Декарта наука об анатомии только зарождалась и даже Галилей плохо разбирался в функциях глаза и отдельных его частей (например, хрусталика).

О том, какое большое значение Декарт придавал оптическим приборам как средствам, существенно расширяющим возможности зрительного восприятия мира, свидетельствуют строки из первой главы «Диоптрики»: «Поведение человека в жизни зависит от чувств, среди которых чувство зрения — наиболее разностороннее и благородное; несомненно, что изобретения, служащие для его усиления, являются самыми полезными из всех остальных. Трудно найти другое изобретение, в большей степени уси-



РЕНЕ ДЕКАРТ
(1596—1650)

ливающее его, чем те чудесные зрительные трубы, которые, хотя и находятся в употреблении с недавнего времени, уже позволили открыть новые светила на небе и новые предметы на земле в гораздо большем числе, чем это было возможно до сих пор. Отодвигая границы зрения намного дальше, чем позволяло воображение наших предков, они как бы проложили нам путь к гораздо более глу-

бокому и совершенному, чем прежде, знанию природы» [22, с. 69—70].

Для правильного расчета оптических приборов необходимо было знать закон преломления. Формулировка этого закона была приведена в «Диоптрике» Кеплера, который считал отношение углов преломления к углам падения величиной постоянной, что неверно. Большой заслугой Декарта явилась точная формулировка закона преломления, который он получил независимо от В. Снеллиуса.

Открытие точного закона преломления имело огромное значение и для развития теории аберраций оптических систем. Сама теория аберраций могла возникнуть только тогда, когда стал известен закон преломления [23].

Вопросу расчета геометрических поверхностей линз, свободных от сферических аберраций, посвящена восьмая глава «Диоптрики». Декарт комбинирует сферические поверхности линз с гиперболическими и эллиптическими (рис. 6), исправляя тем самым сферическую аберрацию. В этом смысле мы вправе считать Декарта одним из основоположников асферической оптики.

В заключительной части главы VIII «Диоптрики» Декарт касается также некоторых энергетических вопросов, которые должны учитываться при конструировании и расчете оптических систем: «Если иметь два стекла (две линзы или два зеркала любого рода, лишь бы только их фигуры были совершенно подобны и одно из них было гораздо больше другого), то наибольшее из них соберет солнечные лучи дальше от себя и на большей площади, нежели наименьшее; однако солнечные лучи не будут обладать большей силой в каждой части этой площади, чем на той, куда их собирает наименьшее зеркало; следовательно, можно изготовить стекла или зеркала чрезвычайно маленькие, располагающие, однако, такой же зажигательной силой, какой обладают самые большие. Зажигательное зеркало, диаметр которого не больше, чем сотая часть расстояния между ним и местом, где сосредоточиваются солнечные лучи, т. е. зеркало, имеющее такое же отношение к этому расстоянию от него до нас, даже если бы оно было отшлифовано ангелом, не может посредством концентрируемых им лучей нагреть то место, куда оно их собирает, больше, чем лучи, излучаемые непосредственно солнцем; тоже справедливо для зажигательных стекол» [22, с. 159—160].

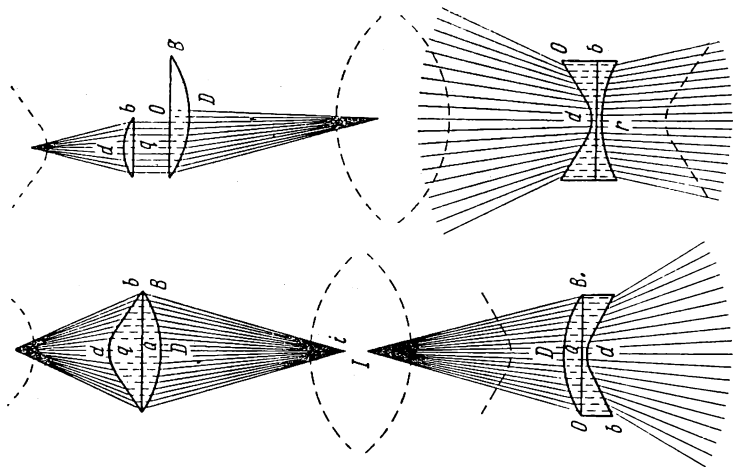


Рис. 6. Исправление сферической аберрации посредством комбинации гиперболических и эллиптических поверхностей со сферическими. Рисунок Р. Декарта (1637 г.)

Углубляясь в изучение энергетических вопросов прикладной оптики, Декарт делает далее попытку ввести совершенно новое понятие входного зрачка, почти вплотную подходя к вопросу об ограничении световых пучков в оптических системах.

От теоретических соображений Декарт далее переходит к практической стороне — конструированию различных оптических приборов. В XVII в. мастеров-оптиков было так мало, что многие ученые собственноручно изготавливали необходимые для их экспериментов оптические приборы. Этим занимался и Декарт.

В предложенной им конструкции микроскопа имеется очень полезное приспособление — зеркальце, служащее для подсветки непрозрачных объектов наблюдения. Для облегчения нахождения слабых небесных объектов (например, звезд малой величины и яркости) Декарт предлагает применять специальное приспособление — «искатель», представляющий собой небольшую зрительную трубу с большим полем зрения, прикрепленную к главной. Однако вследствие того, что Декарт проводит все свои рассуждения с точки зрения чисто геометрической оптики, он считает, что совершенство зрительной трубы определяется ее увеличением. Единственное препятствие

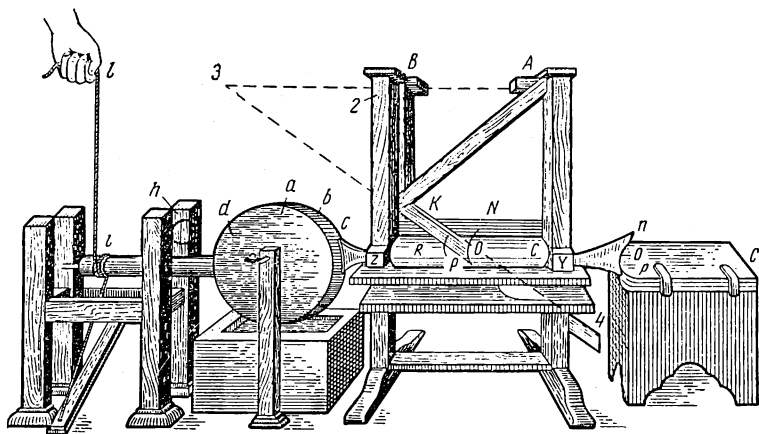


Рис. 7. Шлифовальный станок Р. Декарта для обработки линз с асферическими поверхностями

на пути получения любых увеличений Декарт видит в плохом качестве стекла и отступлении практической формы поверхностей линзы от идеальной. Других рассуждений в эпоху Декарта и не могло быть, так как ученым того времени были незнакомы такие явления, как дифракция и хроматическая аберрация.

В главе IX «Диоптрики» Декарт дает очень интересное, с точки зрения практической оптики, описание сложного микроскопа. Декарт вводит в конструкцию микроскопа совершенно новый элемент — конденсор, изготовленный в виде плоско-выпуклой линзы.

Последнюю главу своего трактата Декарт посвящает обработке линз с асферическими поверхностями. В этом разделе рукописи, получившем название «О методике шлифовки стекол», он приводит подробное описание и чертежи конструкций шлифовальных станков (рис. 7). Даже в наше время изготовление линз с асферическими поверхностями представляет значительные трудности. Во времена же Декарта разработка технологии изготовления подобных линз была поистине пионерским начинанием. В заключение «Диоптрики» Декарт впервые в научной литературе приводит приемы центровки линз, притом с гиперболическими поверхностями: «Когда линзы шлифуют с обеих сторон, трудно добиться того, чтобы вершины

двух гипербол были прямо противоположны друг другу; в этом случае можно поступать следующим образом: сначала их края надлежит округлить на станке так, чтобы их окружность была абсолютно равна окружности подставок, к которым они будут прикреплены для полировки; затем в момент прикрепления линз, пока гипс, вар или цемент, с помощью которых их присоединяют, еще свежи и мягки, их пропускают вместе с подставками через кольцо, в которое они едва-едва входят» [22, с. 187].

Разумеется состояние техники в эпоху Декарта не позволяло получать хорошие линзы с асферическими поверхностями. Станки Декарта так никогда и не были построены. Подобные станки появились только триста лет спустя.

ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС

Гюйгенс родился в 1629 г. в Гааге в богатой семье известного голландского поэта. С ранних лет он проявил склонность к физико-математическим наукам. В шестнадцатилетнем возрасте Гюйгенс поступил в Лейденский университет, где обучался математике и праву. В это же время он знакомится с основными произведениями Архимеда, изучает «Диоптрику» Вителло, труды Кеплера и Декарта. В 1655 г. Гюйгенс получает ученую степень доктора юридических наук.

Оптикой Гюйгенс начал заниматься с 1652 г. Об этом свидетельствует его письмо, написанное 29 октября 1652 г. своему знакомому — Андрэ Такэ, занимавшемуся в то время теорией равновесия плавающих тел: «Ты знаешь, что эту же самую тему я уже рассматривал ранее. Теперь же я весь поглощен диоптрикой и недавно сделал изящное изобретение, при помощи которого мне, как я полагаю, можно будет гораздо лучше других конструировать телескопы. . . Это изобретение заключается в том, что я доказал возможность при помощи сферической поверхности сходящиеся в одной точке лучи заставить сходиться в другой точке, расположенной ближе или дальше, и при этом совершенно точно» [24, с. 25—26].

В другом письме от 10 декабря 1652 г. он продолжает ту же тему: «Я уже имею почти написанные две книги об этом предмете, к которым прибавляется и третья: первая говорит о преломлении в плоских и сферических поверхностях. . . вторая о видимом увеличении или умень-



ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС
(1629—1695)

шении изображений предметов, получающихся при помощи преломления» [24, с. 26].

Над «Диоптрикой» Гюйгенс работал с перерывами около 40 лет (с 1652 по 1692 г.). Ее можно условно разделить на три большие части. Первая часть посвящена в основном законам преломления света. Она начинается с краткого исторического введения, в котором говорится о том, какие существуют способы определения коэффициента преломления.

Отдельные главы первой части «Диоптрики» посвящены преломлению света в плоских и сферических поверхностях; Гюйгенсом дается экспериментальное определение показателя преломления различных прозрачных тел, рассматривается ряд задач, связанных с вопросами преломления света в линзах и призмах [25].

Далее Гюйгенс переходит к определению фокусных расстояний линз и ищет связь между положением предмета на оптической оси линзы и положением его изображения. Тем самым Гюйгенс получает выражение основной формулы линзы, формулируя ее такими словами: «Предложение 13. Дана какая-нибудь линза, выпуклая или вогнутая, образуемая или двумя сферическими поверхностями, или же сферической и плоской; на ее оси дана точка, из которой выходят или в которой сходятся падающие на линзу лучи; строим третью, пропорциональную для двух начинающихся в этой точке прямых, одна из которых представляет расстояние от точки пересечения преломленных лучей, идущих параллельно оси с противоположной стороны, а вторая — расстояние до самой чечевицы (линзы. — В. Г.); тогда конечная точка третьей построенной прямой, откладываемой от данной точки в ту же сторону, что и первые, будет точкой схода или расхождения лучей, выходящих из заданной точки или сходящихся в ней» [24, с. 27]. Таким образом, Гюйгенс приходит к следующей формуле:

$$1/f' = 1/a_1 + 1/a_2,$$

где f' — фокусное расстояние линзы, a_1 и a_2 — расстояние от центра линзы вдоль ее оптической оси до предмета и его изображения.

Заканчивается первая часть книги рассказом о строении глаза и теорией зрения. Во второй части «Диоптрики» Гюйгенса наибольший интерес представляет предложение 6: «Если данный предмет наблюдается через какое угодно число линз и меняются своими местами глаз и наблюдаемый предмет, причем линзы остаются в тех же положениях, то видимая величина рассматриваемого предмета, а также и положение его останутся теми же, что и раньше» [24, с. 29], т. е. Гюйгенс говорит об обратимости оптической системы. Вся важность этого положения была оценена значительно позже — в конце XIX в.

В третьей части «Диоптрики» Гюйгенс большое внимание уделяет сферической аберрации линз и методам ее исправления. Еще в 1652 г. он нашел форму преломляющих поверхностей линз, не дающих сферической аберрации для некоторых частных случаев. С целью уменьшения аберраций телескопа он предлагает конструкцию «воздушного телескопа» (рис. 8), в котором объектив и окуляр не связаны между собой: объектив, имеющий боль-

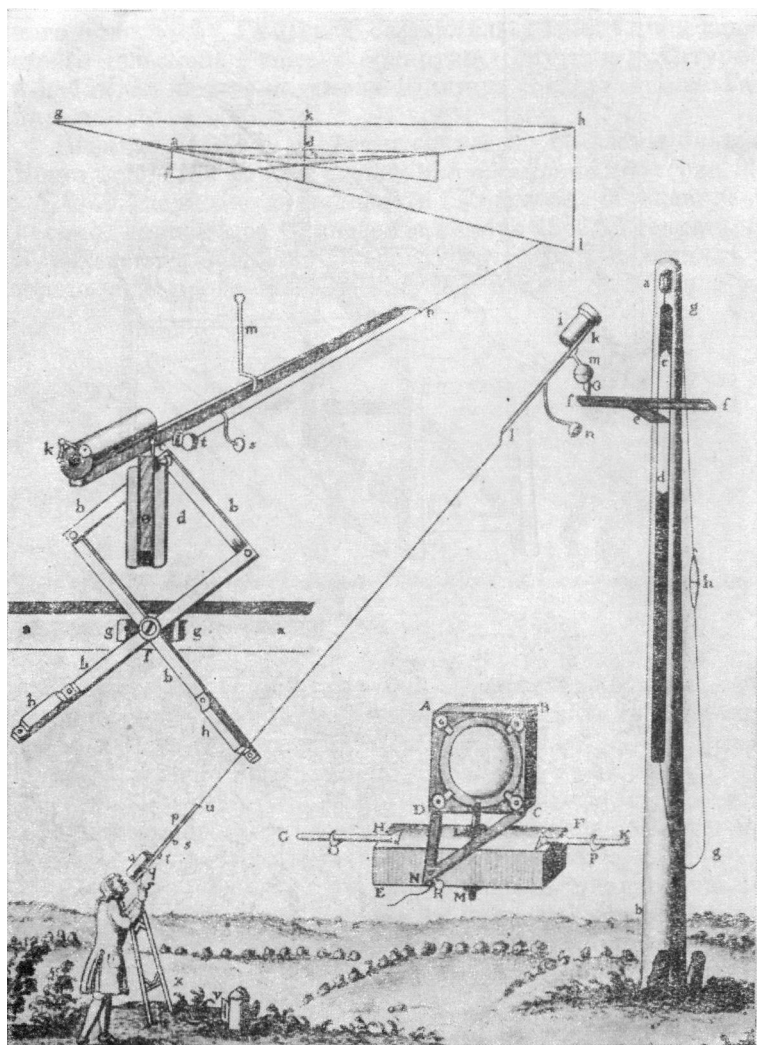


Рис. 8. Воздушный телескоп Гюйгенса (середина XVII в.)

шое фокусное расстояние, находится на высоком столбе, а окуляр — на штативе, установленном на земле. Аберрации в данном случае уменьшались за счет увеличения фокусного расстояния объектива телескопа. Длина «воздуш-

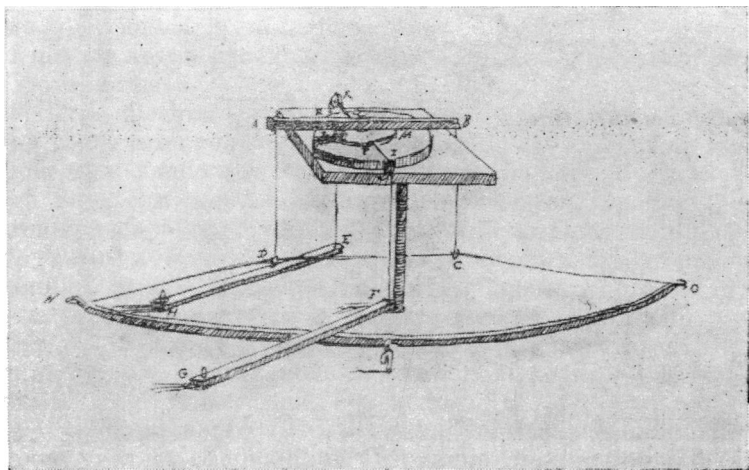
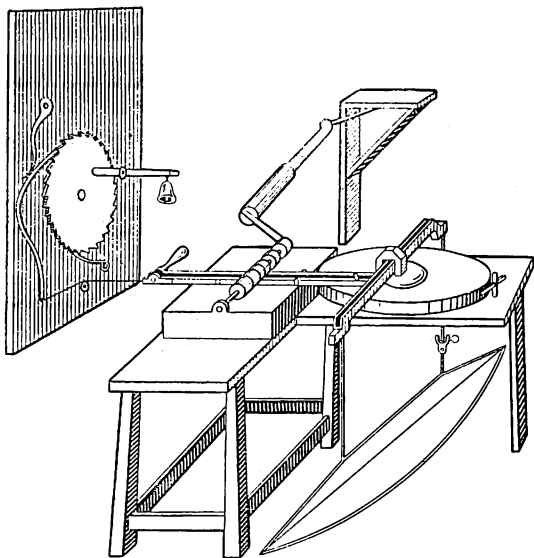


Рис. 9. Станки для шлифовки и полировки линз Х. Гюйгенса

ного телескопа» Гюйгенса составляла 64 м. С помощью своего телескопа Гюйгенс обнаружил спутник у Сатурна и наблюдал четыре спутника Юпитера, открытые еще Галилеем.

В начале 1662 г. Гюйгенс совместно со своим братом Константином построил станок для шлифовки линз (рис. 9). Об этом периоде деятельности Гюйгенса рассказывает письмо, написанное Спинозой в ноябре 1665 г. секретарю Королевского общества Ольденбургу: «Гюйгенс занялся и теперь еще продолжает заниматься полировкой диоптри-

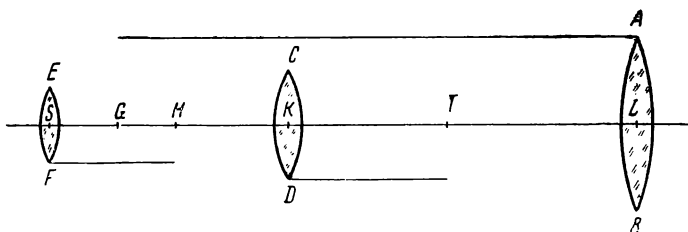


Рис. 10. Оптическая схема телескопа с окуляром Гюйгенса. Рисунок из «Диоптрики» Гюйгенса

ческих стекол. С этой целью он завел себе довольно хороший станок, на котором может выделывать и отливные формы. Чего он этим достиг, я еще не знаю, да, по правде сказать, и не особенно жажду знать. Ибо из личного опыта я убедился, что при помощи сферических форм простыми руками можно полировать и лучше и безопаснее, чем какую бы то ни было машиною» [26, с. 104].

В 1662 г. Гюйгенс предложил новую оптическую систему окуляра (рис. 10), получившую впоследствии его имя. Этот окуляр состоял из двух положительных линз, разделенных значительным воздушным промежутком. Сам Гюйгенс так описывал в «Диоптрике» свой окуляр, установленный в оптической системе телескопа: «Предложение 3. Показать, каким образом можно улучшить описанные выше телескопы, взявши вместо двух три выпуклые линзы (одна линза — объектив телескопа, а две другие линзы — окуляр. — В. Г.), как мы применяем для ночных наблюдений звезд... Действительно, пусть АВ (рис. 10) будет большая внешняя чечевица (объектив. — В. Г.), фокусное расстояние которой LG. Это расстояние может равняться только 2 или 3 футам, или же 6, или 10,

или даже 20; мы для всех этих расстояний безразлично можем пользоваться одними и теми же окулярами. Последние состоят из двух чечевиц: EF и CD , причем фокусное расстояние KT задней чечевицы будет в 4 раза или чуть меньше превышать фокусное расстояние SH другой чечевицы. Последнее расстояние не должно превышать двух дюймов, ширина чечевицы CD должна равняться $3\frac{1}{2}$ дюймам, а ширина EF в два раза меньше. Расстояние SK между обеими чечевицами должно быть приблизительно вдвое больше SH . Они так соединяются с внешней чечевицей AB , чтобы фокус G последней попал бы между чечевицей EF и ее фокусом H и расстояния GT , GK и GH составляли непрерывную пропорцию» [24, с. 29—30].

Окуляр по схеме Гюйгенса широко применяется оптиками и в наши дни. Связано это с тем, что наличие в нем двух линз позволяет исправить целый ряд аберраций (например, хроматическую аберрацию и астигматизм).

В период с 1665 по 1668 г. Гюйгенс занимался теорией сферической аберрации, а позднее (в 1672—1673 гг.) и теорией хроматической аберрации. Примерно в это же время у него зарождается идея о волновой теории света, которая находит свое завершение в знаменитом «Трактате о свете», опубликованном Гюйгенсом в 1690 г. [27]. Особенно важна пятая глава этого трактата. В ней рассматривается явление двойного лучепреломления в кристаллах исландского шпата.

В 1684 г. Гюйгенс вновь начинает работать над теорией оптических инструментов. Он рассматривает оптические системы телескопов и микроскопов. Эта работа продолжается вплоть до 1692 г. К сожалению, все три части «Диоптрики» Гюйгенса увидели свет лишь после его смерти, в 1703 г.

ИСААК НЬЮТОН

И. Ньютон родился 25 декабря 1643 г. в деревне Вульстон в десяти километрах от небольшого английского городка Грэптэм. В 1661 г. он был принят в Тринити колледж, где начиная с 1663 г. начинает интересоваться оптикой. Большое влияние на занятия Ньютона оказал Исаак Барроу — профессор, читавший курс геометрии и оптики. В 1665 г. Ньютон получает степень бакалавра, а в 1668 г. — степень магистра. Через год Барроу уступает Ньютону свою кафедру.



ИСААК НЬЮТОН
(1643—1727)

Главные научные произведения Ньютона — «Оптика», «Математические начала натуральной философии», а также работы по математическому анализу. Оптикой Ньютон занимался в общей сложности около 15 лет и сделал в этой области множество выдающихся открытий, проявив себя настоящим мастером физического эксперимента.

Труды И. Ньютона в области прикладной оптики можно классифицировать следующим образом: 1 — работы по улучшению конструкции и качества работы телескопа; 2 — исследования, посвященные вопросам технологии изготовления линз и зеркал; 3 — работы по расчету и устранению сферических и хроматических аберраций; 4 — опыты по созданию ахроматических оптических систем.

Улучшением конструкции телескопа Ньютон занимается уже в студенческие годы. Для того чтобы понять причины, заставившие молодого Ньютона искать пути улучшения качества работы этого астрономического инструмента, необходимо вкратце остановиться на той научной обстановке, в которой разворачивалась его деятельность.

XVII век был веком подлинной революции в оптике. Характерной особенностью этой революции было то, что первостепенное значение при научных исследованиях стала играть техника. Ученый мир Европы был потрясен астрономическими открытиями Галилея, сделанными им в 1609—1610 гг. при помощи телескопа. Галилей усовершенствовал технологию изготовления линз до такой степени, какой она еще никогда не достигала. Это позволило ему изготовить зрительную трубу тридцатикратного увеличения, в то время как зрительные трубы очковых мастеров увеличивали всего в три раза.

В XVII в. шлифовкой и полировкой линз занимались ученые самых различных специальностей. Для этих целей ими создавались станки, разрабатывались отдельные вопросы геометрической оптики. Делались и попытки улучшения качества изготовления телескопов.

Умы многих выдающихся ученых XVII в. занимал вопрос о повышении качества изображения, даваемого телескопом. Сферическую аберрацию в то время пытались исправлять либо введением асферических поверхностей (Р. Декарт), либо значительным увеличением длины фокусного расстояния объектива (сферическая аберрация убывает по мере возрастания фокусного расстояния). Хотя асферические поверхности в принципе позволяют

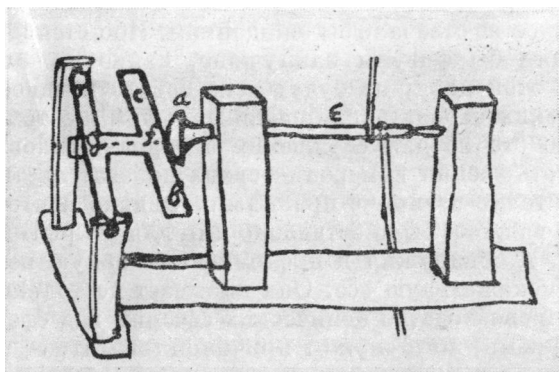


Рис. 11. Станок для шлифовки линз. Рисунок И. Ньютона

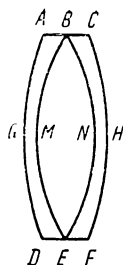


Рис. 12. Схема «стеклинно-водного» объектива И. Ньютона

получать безабберационное изображение, технологически осуществить их было в то время крайне сложно.

Учитывая сказанное, неудивительно, что уже в 1666 г. Ньютон-студент занялся собственноручным изготовлением асферических линз. Напомним, что эта задача представляет большие трудности даже в наши дни. По этой причине становится понятным, какие трудности приходилось испытывать Ньютону. Все же асферические линзы Ньютон получил, однако никаких сведений об их качестве мы не имеем. В рукописях Ньютона имеется рисунок станка для шлифовки линз (рис. 11), который он применял в своих занятиях оптикой.

Скоро Ньютон пришел к выводу, что качество изображения, даваемое оптическими приборами, зависит не только от степени исправления сферической аберрации. В 1669 г. в своих «Лекциях по оптике» он пишет: «Изучающие диоптрику воображают, что зрительные приборы могут быть доведены до любой степени совершенства при помощи стекла, если полировкой сообщить ему желаемую геометрическую фигуру. Для этой цели придуманы были разные инструменты для притирания стекол по гиперболическим, а также параболическим фигурам. Однако точное изготовление таких фигур до сих пор никому не удалось, ибо работали понапрасну. И вот, для того чтобы не тратили далее труд свой на безнадежное дело, осмеливаюсь я предупредить, что, если бы даже все происходило удачно,

все же полученное не отвечало бы ожиданиям. Ибо стекла, которым придали бы фигуры наилучшие, какие можно придумать для этой цели, не будут действовать и вдвое лучше сферических зеркал, полированных с той же точностью. Говорю это не для осуждения авторов-оптиков, ибо все они в отношении намерения своих доказательств высказывались точно и вполне правильно. Однако нечто, и притом очень важное, было оставлено ими для открытия потомкам. Так, я обнаружил в преломлениях некую неправильность, искажающую все. Она вызывает не только недостаточное превосходство конических сечений над сферическими фигурами, но и служит причиной того, что сферические фигуры дают много меньше, чем если бы сказанное преломление было однородным» [28, с. 19—20].

Из этого отрывка мы видим, что речь идет о хроматической аберрации. Сущность ее в следующем: луч белого света после прохождения линзы распадается на ряд лучей разных цветов, которые пересекают оптическую ось линзы на разных расстояниях от ее задней поверхности. Лучи не собираются в фокусе линзы, и вместо изображения точки в фокальной плоскости линзы образуется размытое пятно.

Нет сомнения в том, что о существовании хроматической аберрации было известно и до Ньютона. Но «никому до него не приходило в голову связать ее с нечетливостью изображений в трубе, никто не ставил до Ньютона вопроса об ее причине и никто не искал практического выхода в отражательном телескопе. Одна постановка таких вопросов и в таком сочетании подымала Ньютона над всеми оптиками — его современниками», пишет С. И. Вавилов [4, с. 315].

В своих «Лекциях по оптике» Ньютон впервые ставит вопрос об определении величины хроматической аберрации: «Определить для разнородных лучей, падающих на сферу, ошибки, порождаемые неравными преломлениями одинаково падающих лучей» [28, с. 134]. Им же была определена хроматическая аберрация положения изображения для параксиальных лучей. Вывод формулы хроматической аберрации, который приводит Ньютон в своих «Лекциях», по существу ничем не отличается от выводов, приводимых в современных курсах оптики.

Далее Ньютон проводит сравнение величин сферической и хроматической аберраций и заключает: «Причина того, что телескопы не продвинулись до большего совер-

шенства, не есть несоответствие сферической фигуры, а неоднородность света» [28, с. 135].

Кроме формулы для вычисления хроматической аберрации, Ньютон приводит формулу для нахождения поперечной сферической аберрации третьего порядка для частного случая, когда луч падает параллельно оптической оси системы (предложение XXXI в «Лекциях по оптике»). Ньютон также указывает, что им выведена и формула для общего случая, когда предмет находится на конечном расстоянии.

Ньютоном были также предприняты попытки создания конструкции ахроматической системы. В его «Оптике» [29] имеется описание «стеклянно-водяного объектива», состоящего из стеклянных менисков, пространство между которыми заполнено водой. Однако тут Ньютон совершил ошибку. Она состояла в том, что в воду Ньютон добавил свинцовый сахар для «просветления», благодаря чему коэффициент преломления воды настолько приблизился к коэффициенту преломления стекла, что эффекта ахроматизации не возникло. Исходя из этого, Ньютон сделал ошибочный вывод о том, что частная относительная дисперсия $(n-1)/\Delta n$ есть универсальная постоянная, одинаковая для всех прозрачных сред, а потому исправление хроматической аберрации оптической системы невозможно: «Если бы не различная преломляемость лучей, то в усовершенствовании телескопов можно бы добиться значительно большего, чем то, что мы описали, составляя объективные стекла из двух стекол с водою между ними. Пусть *ADFC* (рис. 12) представляет объективное стекло, составленное из двух стекол: *ABED* и *BEFC*, одинаково выпуклых с внешних сторон *AGD* и *CHF* и одинаково вогнутых сторон *BME*, *BNE* изнутри, с водою в полости *BMEN*. Пусть синус падения из стекла в воздух равен отношению *I* к *R*, из воды в воздух — отношению *K* к *R* и, следовательно, из стекла в воду — отношению *I* к *K*; пусть диаметр сферы, к которой относятся выпуклые стороны *AGD* и *CHF*, будет *D* и диаметр сферы, к которой относятся вогнутые стороны *BME* и *BNE*, относится к *D*, как кубичный корень из *KK* — *KI* относится к кубическому корню из *RK* — *RI*; преломления на вогнутых сторонах стекол значительно исправят ошибки преломлений на выпуклых сторонах, поскольку ошибки возникают вследствие сферичности фигуры. Таким способом можно довести телескопы до достаточного совершенства, если бы

не было различной преломляемости различных сортов лучей. Но по причине этой различной преломляемости я не вижу какого-либо другого средства улучшения телескопов с помощью преломлений, кроме только увеличения их длины» [29, с. 85, 86].

Тем самым Ньютон вынес смертный приговор ахроматической оптике и, считая дальнейшее улучшение линзовых объективов делом невозможным, начал заниматься изготовлением зеркальных телескопов, объективы которых, представляющие собой вогнутые сферические зеркала, естественно, не имели хроматической аберрации.

Овладев искусством получения сплавов и полировкой металлических зеркал, Ньютон в 1668 г. построил свой первый отражательный телескоп. Он был небольших размеров (длина 15 см, диаметр зеркала 2,5 см). Несмотря на это, качество инструмента было весьма неплохое и в него можно было увидеть спутники Юпитера.

В 1671 г. Ньютон построил второй зеркальный телескоп (рис. 13), хранящийся в настоящее время в Музее Лондонского королевского общества. Инструмент этот — результат кропотливого труда. Его каждая деталь была тщательно продумана и изготовлена.

Свой способ изготовления металлических зеркал Ньютон подробно изложил в «Оптике»: «Полировка, которой пользовался я, была такого рода. Я имел две круглых медных пластинки, шесть дюймов в диаметре каждая, одну выпуклую, другую вогнутую, точно притертые одна к другой. К выпуклой пластинке я притирал объективный металл или вогнутое зеркало, которое нужно было полировать до тех пор, пока оно принимало форму выпуклой пластинки и было готово к полировке. Затем я покрывал выпуклый металл очень тонким слоем смолы, капая расплавленной смолой на металл и нагревая его; для того чтобы сохранять смолу мягкой, в это время я притирал ее вогнутой медной пластинкой, смоченной для того, чтобы распределить смолу поровну по всей выпуклости. Тщательно обрабатывая смолу таким образом, я достиг толщины гроша; после того как выпуклость охлаждалась, я притирал ее снова, придавая ей возможно правильную форму. Затем я брал очень тонкую золу, отмытую от больших частиц, и, положив немного ее на смолу, притирал к смоле вогнутой медью до тех пор, пока не прекращался шорох; после этого я притирал быстрым движением объективный металл к смоле в течение около двух или трех минут,



Рис. 13. Зеркальный телескоп И. Ньютона

сильно на него нажимая. Далее, я насыпал на смолу свежей золы, притирал ее снова до исчезновения шума и после этого, как и прежде, притирал объективный металл. Эту работу я повторял до тех пор, пока металл не отполировался, притирая его напоследок со всей моей силой в течение изрядного времени и часто дыша на смолу, для того чтобы держать ее сырой, не подсыхая свежей золы» [29, с. 87, 88].

Технология полировки зеркал была разработана самим Ньютоном и по своему совершенству превосходила все методы полировки, известные до него: «Когда я сделал мои телескопы, — писал Ньютон в своей „Оптике“, —

один мастер в Лондоне пытался их повторить; пользуясь, однако, способом полировки, отличным от моего, он достиг значительно меньшего, чем я, как я узнал позднее из разговора с одним рабочим, служащим у него» [29, с. 87].

В 1671 г. Ньютон отправил свой зеркальный телескоп королю Карлу II и вскоре получил весьма высокую оценку от Лондонского королевского общества. 11 января 1672 г. членом этого общества стал Ньютон.

На протяжении ряда лет Ньютон продолжал заниматься усовершенствованием своего телескопа. В 1681—1682 гг. он попытался заменить металлическое зеркало стеклянным, покрытым отражательным составом. Впоследствии многие ученые прославились благодаря искусству изготовления зеркальных телескопов (Гершель, Росс и др.).

Была у Ньютона идея создания зеркального (отражательного) микроскопа. Реализована она была в 1827 г. итальянским оптиком Амичи.

Велика была роль исследований И. Ньютона и в области спектроскопии. «В начале 1666 г., — писал Ньютон в своем мемуаре „Новая теория света и цветов“, — я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с нею произвести опыты над знаменитым явлением цветов». В 1704 г. в книге «Оптика» Ньютон описал свои опыты по разложению света в спектр с помощью стеклянной призмы. Он пришел к революционному для науки своего времени выводу о том, что солнечный свет состоит из лучей, обладающих различной способностью преломляться. Последняя, согласно Ньютону, связана с цветом лучей. С помощью комбинации линзы и призмы он получил отчетливый спектр длиной около 25 см.

Подводя итог деятельности И. Ньютона в области прикладной оптики, следует подчеркнуть, что основным его вкладом в эту науку было открытие хроматической аберрации и разработка конструкции отражательного телескопа.

ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР

Леонард Эйлер родился в Базеле 15 апреля 1707 г. Его выдающиеся математические способности проявились еще в раннем возрасте. В 20 лет он был приглашен Екатериной II в Петербургскую академию наук.

Эйлер имел многочисленных учеников, из которых восемь стали впоследствии академиками. По переводу на



ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР
(1707—1783)

русский язык книги Эйлера «Письма. . . к немецкой принцессе. . .» [30] учились многие поколения русских физиков. Творчество Эйлера отличалось необыкновенной продуктивностью: общее количество опубликованных им работ превышает 800.

Круг интересов Л. Эйлера был необычайно широк и охватывал многие науки: математику, механику, оптику, теорию машин, баллистику, морскую науку и т. д. Отличительной особенностью его творчества было то, что под все изучаемые им вопросы Эйлер подводил солидную математическую базу. В его творчестве четко прослеживается

тесная связь теоретических исследований с практикой. Труды Эйлера по оптике являются наглядным примером такого сочетания.

Эйлера с полным основанием можно считать одним из основоположников прикладной оптики, внесшим существенный вклад в теорию расчета и конструирования оптических систем. Ведь именно ему принадлежит идея о расчете элементов оптических систем, предварявшем непосредственное создание конкретной конструкции оптического прибора или инструмента.

Во времена Эйлера (вторая половина XVIII в.) общей теории аберраций оптических систем не существовало. Были известны сферическая и хроматическая аберрации и частный случай астигматизма ⁴. Причем если сферическую аберрацию умели исправлять еще со времени Р. Декарта, то с хроматической аберрацией дело обстояло значительно сложнее.

Явление дисперсии света было открыто И. Ньютоном (1666 г.). Им же была получена зависимость, выражаемая дисперсионной формулой

$$n = A + \varphi(\lambda),$$

из которой он сделал заключение о невозможности создания ахроматических систем. Здесь n — показатель преломления для луча данного цвета, характеризуемого длиной волны λ ; A — постоянная величина, не зависящая от λ , но меняющаяся от вещества к веществу; $\varphi(\lambda)$ — некоторая функция λ , от природы вещества, по утверждению Ньютона, не зависящая ⁵.

Ошибка Ньютона сыграла отрицательную роль в развитии прикладной оптики. Непререкаемый авторитет

⁴ Астигматизм — один из недостатков оптических систем, при наличии которого точки предмета, находящиеся на значительном расстоянии от оптической оси, отображаются не в виде точек. Вследствие этого края изображения оказываются нерезкими. Посредством комбинации нескольких линз с поверхностями различной кривизны, изготовленных из разных сортов стекла, удастся устранить астигматизм. Фотографические объективы, у которых астигматизм отсутствует, называют анастигматами.

⁵ В действительности функция $\varphi(\lambda)$ зависит от материала, из которого сделана призма или линза. В первой половине XIX в. Коши получил следующее выражение для показателя преломления n :

$$n = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 + \dots,$$

где A, B, C, \dots — постоянные величины, зависящие от материала, из которого изготовлена призма или линза.

Ньютона на столетие отодвинул вопрос о возможности создания ахроматических оптических систем.

Эйлер был в числе первых ученых, резко выступивших против утверждения Ньютона о невозможности построения линз, свободных от хроматической аберрации. В 1747 г. он впервые высказал мысль о возможности создания ахроматического объектива.

На эту идею Эйлера натолкнули рассуждения Д. Грегори относительно ахроматизма глаза человека, состоящего из нескольких прозрачных сред с разной относительной дисперсией. Несмотря на неправильность таких рассуждений (глаз человека имеет хроматическую аберрацию), Эйлер делает правильный вывод о возможности создания ахроматического объектива из совокупности прозрачных сред с разной относительной дисперсией. Первоначально ахроматический объектив Эйлера состоял из двух обращенных друг к другу вогнутыми сторонами менисков, пространство между которыми было заполнено водой.

Рассуждения Эйлера наглядно видны из его письма, написанного в октябре 1748 г. Х. Гольдбаху: «Недостаток обычных объективных стекол проистекает лишь из того, что лучи света претерпевают неодинаковое преломление и вследствие этого красные лучи, например, образуют другой фокус, чем синие. . . откуда возникают неотчетливость и окраска объектов. . . Если поэтому можно было бы изготовить такие объективы, которые соединяли бы все лучи в одном общем фокусе, то мы могли бы ожидать от них тех же преимуществ, что и от зеркал. Однако изготовить такие объективы из одного только стекла невозможно. Поэтому я пришел к мысли, нельзя ли изготовлять подобные объективные линзы из стекла и воды или из двух других прозрачных материй, и тем меньше сомневался в этом, что, как мы видим, в глазах, состоящих из различных прозрачных тел, такого рода неотчетливость, вследствие различного преломления лучей света, не ощущается». Далее Эйлер показывает, что «оба стекла должны быть менисками, у которых радиус выпуклой поверхности относится к радиусу вогнутой, как 23 к 10» [31, с. 309—310].

Для проверки своих расчетов Эйлер проводит серию опытов с наливными линзами, состоящими из менисков, наполненных различными жидкостями, и обнаруживает возможность уменьшения хроматической аберрации. По-

добные опыты делал и Ньютон. Однако им были выбраны прозрачные среды с мало отличающимися друг от друга показателями преломления, и по этой причине эффекта ахроматизации не возникало.

Сам Эйлер излагал в 1774 г. историю создания ахроматических систем следующим образом: «Наше мнение вскоре же подверглось яростным нападкам со стороны покойного Доллонда, который еще долгое время считал, что доказательство великого Ньютона обосновано настолько прочно, что не может быть ошибочным. Для подкрепления своего мнения он приступил к опытам над преломлением различных прозрачных веществ, в особенности разных сортов стекла. Эти опыты вполне подтвердили мое мнение, и Доллонд принужден был признать свою ошибку. Без сомнения, именно это важное открытие заставило искусного мастера с жаром приняться за усовершенствование обычных линз» [32, с. 37].

Эйлер пытался исправлять хроматическую абберацию путем применения комбинации двух линз, изготовленных из стекол с разной относительной дисперсией (кронглас и флинтглас). Этим самым удастся частично устранить «рассыпание» лучей разного цвета после прохождения линзы.

Исследования Эйлера побудили английского оптика Д. Доллонда приступить к опытам по созданию ахроматических систем, состоящих из комбинаций двух линз, изготовленных из стекол с различной дисперсией — кронгласа ⁶ и флинтгласа ⁷. В результате этих опытов в 1758 г. была создана первая практически приемлемая конструкция ахроматического объектива телескопа. В этом же году Доллондом был получен патент на изобретение ахроматического объектива.

О той роли, которую сыграл Эйлер в изобретении ахроматических систем, писал С. Я. Румовский в книге «Речь о начале и приращении оптики» (1763): «г. Эйлер, рассуждая о глазе человеческом, который изъят от всех помянутых

⁶ Кронглас (или крон) — оптическое стекло с малой дисперсией. В состав его входят кремнезем, борный ангидрид, окислы алюминия и другие вещества.

⁷ Флинтглас (или флинт) — оптическое стекло, содержащее большое количество окиси свинца. Благодаря этому флинтлы обладают большим, чем другие сорта стекол, показателем преломления и большей дисперсией.

недостатков, первый сомневаться начал об истине сего предложения и, видя, что в глазе человеческом не чем иным, как соединением разных материй отвращены сии недостатки, заключил, что лучи, равно преломляясь, не во всех материях равно рассыпаются и что соединением различных прозрачных материй можно получить то, чтоб лучи не рассыпались, ни на цвета разделяться не могли. Утверждаясь на сем мнении (Эйлер. — В. Г.) в 1747 году показал способ, как делать трубы с двойными стеклами внутри водою наполненными, которые бы лучам рассыпаться препятствовали. Хотя сей способ, как сам автор признается, для разных причин в действо с желаемым успехом произвести трудно, однако ж Доллонд, ученый Англичанин, не трудность онаго, но основание Невтонову мнению противное опровергнуть старался. Сие подало случай г. Эйлеру мнение свое столь важными утвердить доказательствами, что сам Долланд, крепкий Невтонов поборник, убежден будучи силою их, через опыты принужден был исследовать, которое из помянутых двух мнений истинно; и действительно нашел, что Невтоново не согласно с опытами. Тогда явно стало, что можно составлять трубы, которые бы не имели недостатку от различного преломления лучей происходящего. Доллонду соединением двух стекол вместо одного объективного, из которых каждое имело особливую фигуру и из особой материи сделано было, прежде всех удалось достигнуть своего намерения» [34, с. 23—24]. Изобретение Доллонда оказало влияние на дальнейшие работы Эйлера, особенно в части расчета ахроматических систем.

Понимая всю важность проблемы создания ахроматической оптики, Петербургская академия наук предложила в 1762 г. конкурсную задачу на премию следующего содержания: «Исследовать, сколько несовершенства зрительных труб и микроскопов, или мелкозоров, происходящие от различного преломления лучей и от круглого стекол вида, соединением многих стекол исправить или уменьшить можно, потом теорию совокупить с практикою и опытами утвердить». На этот конкурс были представлены работы Л. Эйлера, шведского физика С. Клингенштерна и молодого немецкого физика Груммера. Победителями конкурса стали Л. Эйлер и С. Клингенштерн. Их работы, посвященные главным образом созданию ахроматических объективов для телескопов, были опубликованы и премированы Академией наук [35, 36].

Наряду с теоретической стороной вопроса создания ахроматических систем в 60-х годах XVIII в. была и другая, не менее важная практическая проблема — изготовление различных сортов стекол для ахроматических объективов. Варкой флинтгласа занимались замечательные русские ученые М. В. Ломоносов и И. Э. Цейгер. На стекольном заводе под Шлиссельбургом И. Э. Цейгером были обнаружены два сорта стекла, «а именно белое и зеленоватое, которые в рассуждении различного свойства рассеяния цветов с английским флинтгласом и кронгласом совершенно сходились» [37, с. 116].

Независимо от Цейгера разработкой рецептуры приготовления флинта занимался М. В. Ломоносов. Проведя большое число опытов, он установил, что «стекло с суриком (т. е. флинтглас. — В. Г.) много больше делает рефракцию, нежели другое» и что именно его должно употреблять для изготовления эйлеровских ахроматических линз. К сожалению, эти исследования М. В. Ломоносова не были своевременно опубликованы.

Эйлером были произведены расчеты сложных ахроматических систем, состоящих из большого числа стекол (до 10 линз). Эти работы нашли свое отражение в фундаментальной трехтомной «Диоптрике» Эйлера, вышедшей в 1769—1771 гг. [33]. Превосходную характеристику исторической роли «Диоптрики» дал Николай Фусс в составленной им биографии Леонарда Эйлера: «Первая часть этого выдающегося произведения содержит общую теорию этой новой науки. Мне будет позволено употребить это определение, если припомнить, что своим нынешним состоянием диоптрика обязана всецело Эйлеру и что до него она вряд ли заслуживала наименования науки. . . В области расчета (различного рода труб) господствовал полный хаос, и, хотя задача относилась всего лишь к элементарной геометрии и требовала только самого начального знания исчисления бесконечно малых, в разрешении ее настолько отстали, что прогресс теории начинается лишь с Эйлера. Вторая и третья части содержат исчерпывающие правила для наилучшей конструкции телескопов и микроскопов. Расчет отклонения лучей света вследствие сферической формы стекол — шедевр самого тонкого анализа, и по справедливости изумляешься необычайным приемам, которые были использованы, дабы сочетать воедино в этих разнообразных инструментах все возможные преимущества, какие предоставляют отчетливость изобра-

жения, большая величина поля зрения и короткий размер инструмента при любых увеличениях и числе окулярных линз, а упрощение диоптрических расчетов, некогда столь скучных вследствие обилия и запутанности элементов, заслуживает всеобщей благодарности и одобрения» [38, с. 308—309].

Первый том «Диоптрики» носил чисто теоретический характер и был посвящен в основном исследованию сферических аберраций оптических систем. При этом Эйлер впервые использует прием сложения аберраций, исследует, как влияют конструктивные параметры отдельных линз на величину сферической аберрации всей оптической системы в целом.

В «Диоптрике» Эйлер ставит ряд вопросов, которые носят пионерский характер: о поле зрения оптической системы, состоящей из одной линзы и комбинации линз; о правильном положении глаза наблюдателя по отношению к оптической системе, а также затрагивает некоторые вопросы, связанные с энергетическим расчетом оптических систем.

Рассматривая центрированную оптическую систему, Эйлер сначала получает формулы чисто геометрической оптики, дающие связь между положением предмета и его изображением на оптической оси системы. Далее Эйлер переходит к учету аберраций: сферической, а затем и хроматической. Он устанавливает, что при малом входном зрачке эти аберрации являются членами второй степени разложения в ряд.

Опираясь на созданную теорию аберраций, Эйлер делает попытки создания более совершенных оптических систем (рис. 14), уделяя основное внимание коррекции сферических и хроматических аберраций.

К сожалению, оптические системы, построенные по расчетам Эйлера, не дали ожидаемых результатов. Во всех оптических системах Эйлера сферическая аберрация была исправлена, но только в одном случае его объектив случайно имел хорошую коррекцию в отношении условия синусов ⁸. Все же другие оптические системы, рассчитанные Эйлером, обнаруживали значительные аберрации комы ⁹.

⁸ Условие синусов подробно описано в разделе, посвященном Э. Аббе.

⁹ Кома — одна из аберраций оптических систем. При ее наличии изображение точки принимает вид несимметричного пятнышка. Кома отсутствует на оси центрированных оптических систем.

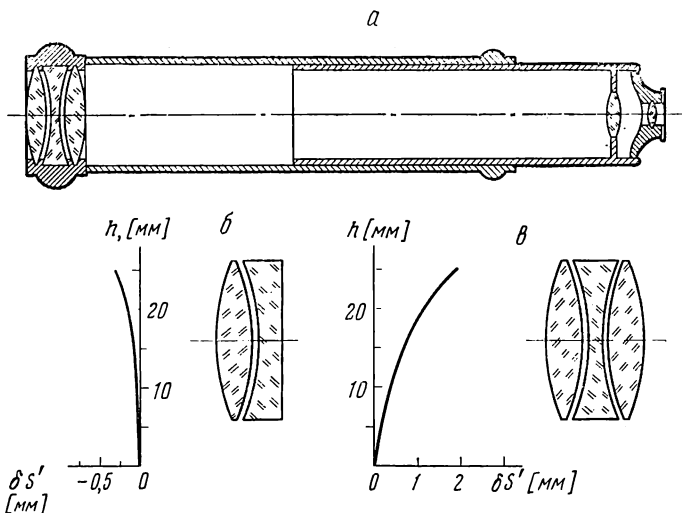


Рис. 14. Оптические системы Л. Эйлера

a — зрительная труба с трехлинзовым ахроматическим объективом; b — неахроматический дублет. На графиках aberrаций: h — высота падения луча; $\delta S'$ — величина сферической aberrации

Объясняется это тем, что Эйлеру не было известно о роли условия синусов при расчете оптических систем. Он считал, что при исправлении сферической и хроматической aberrаций оптическая система будет давать хорошее изображение. Поэтому неудивительно, что эти объективы, несмотря на хорошо исправленные сферические aberrации, все же давали плохое изображение. Это обстоятельство привело впоследствии к недооценке значения работ Эйлера в области развития теории aberrаций оптических систем. Однако путем добавления некоторых идей теорию aberrаций Эйлера можно легко связать с разработанной во второй половине XIX в. теорией оптических изображений К. Ф. Гаусса.

Кроме определения сферической aberrации для точек объекта, расположенных на оптической оси системы, Эйлер впервые в истории оптики дал и формулы коррекции хроматических aberrаций, причем не только для телескопов, но и для микроскопов.

В заключительной части третьего тома «Диоптрики» Эйлера содержится описание нескольких схем ахромати-

ческих микроскопов. В двух таких микроскопах имеется девять линз (четыре линзы из флинта образуют систему объектива). В других конструкциях микроскопов Эйлера ахроматический объектив состоит из трех линз (одна линза — из флинта, а две — из крона). Эйлер приводит несколько схем сочетания такого объектива с системой четырех- и пятилинзового окуляра.

К сожалению, эти конструкции на практике осуществлены не были. На то имелось несколько причин, в основном чисто технического порядка: нужна была точная центровка линз, точная выверка расстояний между линзами, наконец, высокая точность изготовления самих линз. Все это с учетом состояния оптической технологии того времени было невыполнимо, особенно в отношении точности изготовления линз, имеющих малый диаметр и короткий фокус. На это обстоятельство указывал и сам Эйлер: «Мастер должен придать шлифовальным чашкам в точности ту же кривизну, какая указана расчетом для линз, и этого еще недостаточно, так как, пока идет обработка стекла в шлифовальной чашке для придания ему ее формы, форма самой чашки изменяется в свою очередь; время от времени приходится исправлять форму шлифовальной чашки, ибо при малейшем пренебрежении всеми этими предосторожностями не знаешь, можно ли надеяться на успех; при всем том весьма трудно помешать тому, чтобы стекло не приняло форму, несколько отличающуюся от формы чашки; легко видеть поэтому, насколько трудно привести к совершенству этот важный отдел диоптрики» [31, с. 314].

Тем не менее оптическая и инструментальная мастерские Академии наук все же занимались конструированием ахроматических микроскопов по указаниям Эйлера и его ученика Н. Фусса. В 1774 г. Н. Фуссом была опубликована работа: «Подробное наставление по приведению телескопов самых разнообразных видов к наивысшей возможной степени совершенства, извлеченное из диоптрической теории г. Эйлера-старшего и доступно изложенное для всех мастеров этого дела. С описанием микроскопа, который можно считать наиболее совершенным в своем роде и который может давать любые желательные увеличения». В VII главе этой работы даны описание и расчет конструкции ахроматического микроскопа Эйлера.

Через десять лет после опубликования работы Н. Фусса с описанием эйлеровского микроскопа академик Петербург-

ской академии наук Ф. Т. У. Эпинус опубликовал сообщение (1784 г.) о своем «Ахроматическом микроскопе новой конструкции, пригодном для рассматривания объектов в свете, отраженном их поверхностью» [39]. В самом начале 1784 г. он сам сконструировал первый опытный экземпляр своего ахроматического микроскопа [40].

О качестве изготовленного Эпинусом микроскопа имеется свидетельство его современника Ф. Ц. Лагарпа, видевшего этот инструмент. В письме к Ж. М. Фавру от 8 августа 1785 г. Лагарп дает микроскопу Эпинуса следующую характеристику: «Он (Эпинус. — В. Г.). только что усовершенствовал микроскоп до такой высокой степени, что больше сделать невозможно. Каждый предмет виден с необыкновенной ясностью и сохраняет свою природную окраску. Это еще не единственное преимущество. Микроскоп приделан к подзорной трубе в три фута длиною, им можно управлять с необыкновенною легкостью и, укорачивая или удлиняя трубу, можно видеть весь предмет или только часть его, достигая произвольного увеличения, если желают с большим или меньшим вниманием рассмотреть какую-либо часть его. . . Это изобретение представляет великую важность для естественной истории и надеждает много шуму, когда с ним более познакомятся» [41, с. 61].

После смерти Эпинуса (1802 г.) первый ректор Дерптского университета академик Е. И. Паррот поручил изготовление двух экземпляров ахроматических микроскопов немецкому оптику И. Г. Тидеману из Штутгарта. Возникает вопрос: почему изготовление этих микроскопов было поручено именно Тидеману? Объяснить это можно тем обстоятельством, что академические мастерские в Петербурге в это время уже прекратили свою деятельность, а Тидеман славился своим мастерством изготовления сложных неахроматических микроскопов и ахроматических телескопов.

Работа над изготовлением двух ахроматических микроскопов была закончена Тидеманом в 1808 г. Один из этих микроскопов был приобретен в 1827 г. Петербургской академией наук, в физическом кабинете которой он хранился более ста лет. В настоящее время он экспонируется в Политехническом музее в Москве (рис. 15).

Этот уникальный ахроматический микроскоп, являющийся одним из первых в мире ахроматических микроскопов, снабжен не только длиннофокусными, но и ко-

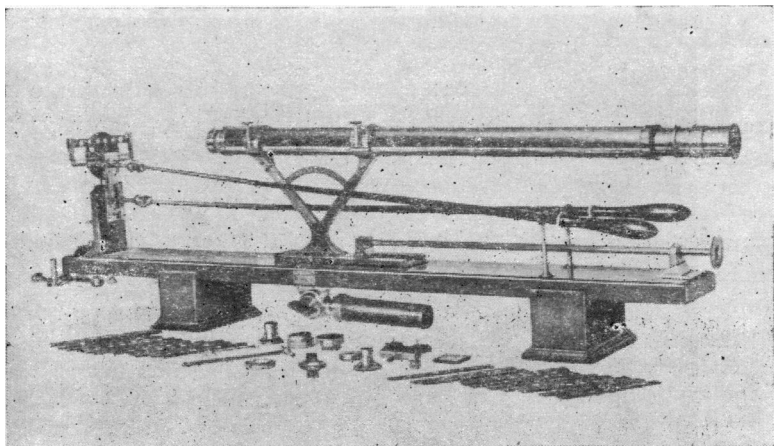


Рис. 15. Ахроматический микроскоп системы Ф. Эпинуса, сконструированный Г. Тидеманом в 1805—1808 гг. Из коллекции микроскопов Института истории естествознания и техники АН СССР

роткофокусными ахроматическими объективами. Оптическая часть конструкции этого микроскопа включает двухлинзовый окуляр, построенный по типу отрицательного окуляра Дж. Кампани (увеличение около 8,25 раза). Каждый из шести сменных ахроматических объективов имеет по три линзы (средняя линза изготовлена из флинт-гласа). Общее увеличение микроскопа составляет примерно от 20 до 700 раз (в зависимости от используемого объектива). Все объективы дают изображения, не искаженные хроматической аберрацией.

Таким образом, с именем Эйлера связана целая эпоха в оптике — эпоха ахроматических систем. Благодаря его трудам Россия оказалась в XVIII в. на одном из первых мест по достижениям в оптической науке и технике. Именно в России в этот период была разработана и осуществлена первая в мире конструкция ахроматического микроскопа.

МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ

Человек универсальных знаний, выдающийся ученый-энциклопедист, М. В. Ломоносов по праву считается основоположником отечественной науки. Трудно даже наз-



МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ
(1711—1765)

вать такую область науки или техники, в которую он не внес бы весомого вклада. При его непосредственном участии происходило основание Московского университета, организация астрономических и метеорологических исследований, создание проектов реорганизации Петербургской академии наук.

Вопросы прикладной оптики, конструирование оптических инструментов занимали важное место в творчестве Ломоносова. Первой его работой в этой области было сочинение «Рассуждение о катоптрико-диоптрическом зажигательном инструменте», написанное в 1741 г.

С принципом действия зажигательных оптических инструментов Ломоносов познакомился, по всей вероятности, по статье профессора Петербургской академии наук Г. В. Крафта «О зажигательных зеркалах и зажигательных стеклах», опубликованной в июле 1735 г. в «Примечаниях на Ведомости». Кроме того, в самой Академии наук хранилось одно из зажигательных стекол известного английского оптика Э. В. Чирнгауза. Проведя с этим стеклом серию опытов, Крафт в 1735 г. так описывал действие, производимое этим стеклом: «Свинцовые и оловянные прутки в то же самое время растопились, как оные только в зажигательную точку внесены были, а серебряная копейка распустилась в одну минуту. Дуб и прочее дерево загоралось в одно мгновение ока и пылало великим огнем. Малые частицы черного плиточного камня в 2 или 3 минуты оборотились в черные стеклянные шарики. Раки под водою оным жаром так обварены были, что их скорлупа от того покраснела. Глиняные сосуды прожжены были тотчас насквозь. Плоские стекла растрескивались в одно мгновение ока» [42, с. 69].

Многие исследователи пытались увеличить концентрируемую в фокусе зажигательного инструмента солнечную энергию. Это приводило к увеличению диаметра линз и зеркал. Ломоносов решил эту задачу совершенно оригинальным способом: «собираанием фокусов нескольких линз или зеркал в одно и то же место, где соединенными силами они и произведут жар больший, чем известный до сих пор» [43, с. 88, 89]. Принцип построения его катоптрико-диоптрического зажигательного инструмента показан на рис. 16. К проблеме «сгущения света» Ломоносов впоследствии возвращался неоднократно.

13 мая 1756 г. на заседании академии Ломоносов демонстрирует «ночезрительную трубу». Как следует из записи в протоколе, это была «труба длиною около двух футов и трех-четырех дюймов. Одна чечевица (окулярная) малая и другая (объективная) большая, собирающая лучи. Труба построена для той цели, чтобы различать в ночное время скалы и корабли. Из всех опытов явствует, что предмет поставленный в темную комнату, различается через эту трубу яснее, чем без нее. Но, поскольку это получено только для малых расстояний, еще нельзя установить, что будет на больших расстояниях на море. Однако Ломоносов полагает, что его изобретение можно довести до та-

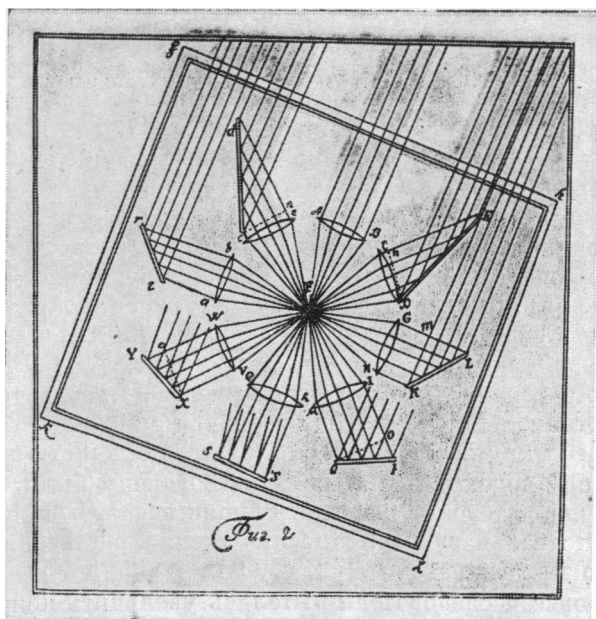


Рис. 16. Собственноручный чертеж Ломоносова, иллюстрирующий принцип построения его катоптрико-диоптрического зажигательного инструмента

кой степени совершенства, что он может поручиться в несомненной пользе его на море» [44, с. 350].

Приведенная запись в протоколе кончается сообщением о начале спора о «ночезрительной трубе»: «Гришов и Попов сказали, что иной новизны изобретения, кроме цели или назначения по сравнению с прочими трубами, нет и что все астрономические трубы дают то же самое» [44, с. 352]. Этой же точки зрения придерживался и С. Я. Румовский. В письме к Л. Эйлеру от 7 декабря 1756 г. он писал: «Г. советник Ломоносов намерен предложить ученым три вопроса. . . Второй — изобрести такой телескоп, при помощи которого представлялись бы явственно предметы, находящиеся в темном месте, с условием, чтобы оно не совсем было лишено освещения. Второй вопрос решен им самим, но он хочет, чтобы весь свет поработал над этим предметом. Имев честь быть допущенным к смотрению многих предметов в его телескоп, я, однако, пользуясь им, не заметил никакой разницы оттого, что видят в обык-

новенные телескопы, исключая того, что мне показались все предметы очень цветными и что радужные цвета представляются там в высшей степени совершенства, из чего заключаю, что решение этого вопроса, по мнению г. Ломоносова, заключается не в ином чем, как в размещении телескопных стекол так, чтобы радужные цвета были как можно более явственны. . .» [45, с. 599—600].

Серьезной критике было подвергнуто и сочинение Ломоносова «Физическая задача о ночезрительной трубе». С. И. Вавилов пишет, что критики «обвиняли Ломоносова в том, что он будто бы претендует на увеличение яркости изображения ночью; они априорно экстраполировали вывод о независимости яркости рассматриваемого изображения от того, рассматривается ли оно невооруженным глазом или через трубу, с дневных условий на ночные. Эти критики. . . не отрицали пользы наблюдения ночью в трубу с большим увеличением, благодаря чему становились различными детали, незаметные в темноте для невооруженного глаза. Но они, по-видимому, совершенно не понимали того, что эта „польза“ вовсе не очевидна и никак не вытекает просто из геометрической оптики. Важная заслуга Ломоносова состояла как раз в том, что он на опыте подтвердил только что указанный вывод о громадной роли увеличения в ночных наблюдениях. Его опыты показали также, что эффективность разных труб в ночных условиях различна» [4, с. 669].

В 1765 г. идея Ломоносова о создании «ночезрительных труб» нашла свое практическое воплощение в реальных конструкциях, изготовленных для экспедиции Чичагова. У Ломоносова нашлись и последователи. В 1772 г. немецкий ученый И. Г. Ламберт описал свою конструкцию зрительной трубы, предназначенной для использования в ночных условиях. Аналогичная труба была предложена в 1803 г. французским астрономом Ж. де Лаландом.

Примерно с 1743 г. Ломоносов начинает проявлять интерес к микроскопу как инструменту для проведения исследований, который дает ему возможность получать аргументы для подкрепления выдвигаемых им научных теорий. Как указывает Б. Н. Меншуткин, сам термин «микроскоп» в его русской транскрипции был впервые введен Ломоносовым. Этот термин мы встречаем прежде всего в расписке, данной Ломоносовым одному из известных русских оптиков того времени И. И. Беляеву: «Два микроскопа, один сложенный из стекол, а другой простой

медный в футляре, принял Академии наук адъютант Михайло Ломоносов сентября 19, 1744 года» [46, с. 162].

Ломоносов в своей научной и практической деятельности пользовался микроскопами типа Кельпепера и позднее Кеффа. Ломоносов был, видимо, первым ученым, который ввел микроскоп в практику химических исследований. Подчеркивая огромное значение микроскопа для научных исследований, Ломоносов тем не менее четко представлял себе границы его возможного применения: «И хотя в нынешние веки изобретенные микроскопы силу зрения нашего так увеличили, что в едва видимой пылинке весьма многие части ясно распознать можно; однако сии полезные инструменты служат только к исследованию органических частей, каковы суть весьма тонкие и невидимые простым глазом пузырьки (т. е. клеточки. — В. Г.) и трубочки, составляющие твердые части животных и растущих вещей; а тех частиц, из которых состоят смешанные материи (т. е. химические соединения. — В. Г.), особливо зрению представить не могут» [47, с. 67—68].

Ломоносов внес в конструкцию микроскопа ряд существенных изменений и улучшений. Так, им было предложено приспособление для быстрой смены объективов микроскопа: «У микроскопов объективные стеклышки должны быть оправлены в одной дощечке, коя б в каймах передвигалась, как разные объекты у ручных микроскопов передвигаются в костяных дощечках. Привинчиванье и отвинчиванье отнимает много времени; а передвинуть легко можно» [48, с. 402]. Была у Ломоносова и идея создания зеркального отражательного микроскопа.

Изучение «Химических и оптических записок» Ломоносова показывает, что им были созданы различные интересные оптические инструменты. К их числу относится, например, «горизонтоскоп», представляющий собой перископ большого размера, снабженный механизмом для поворота его в горизонтальной плоскости [48, с. 450—452]. Этот прибор представляет наибольший интерес и до Ломоносова никем не предлагался.

Другой оригинальный оптический прибор, разработанный Ломоносовым в 1759 г., — «батаскоп». По словам его создателя, это «оптический инструмент, которым много глубже видеть можно дно в реках и в море, нежели видим просто» [49, с. 109]. Это, видимо, первая попытка создания оптического прибора, предназначенного для подводного наблюдения.

Значительный интерес представляют зеркальные телескопы Ломоносова, которые он изготовлял в период с 1761 по 1765 г.

Познакомившись с зеркальными телескопами Ньютона и Грегори, Ломоносов внес в их конструкцию существенное улучшение: он наклонил ось зеркала телескопа на небольшой угол (4°), что дало возможность изъять из телескопа малое (второе) зеркало, ухудшающее качество изображения.

Телескоп Ломоносова состоял из одного вогнутого зеркала и окуляра. Говоря о преимуществах своего изобретения, Ломоносов писал: «Новоизобретенная мною катадиоптрическая зрительная труба тем должна быть превосходнее невтонианской и грегорианской, что: 1) работы меньше, для того что малого зеркала не надобно; а потом 2) и дешевле, 3) не загораживает большого зеркала и свету не умаляет; 4) не так легко может испортиться, как вышеописанные, а особливо в дороге, 5), не тупеют и не путаются в малом зеркале (комо нет и не надобно) лучи солнечные и тем ясность и чистота умножаются, 6) новая белая композиция в зеркале к преумножению света способна» [50, с. 407].

Опытный образец своего зеркального телескопа М. В. Ломоносов закончил к 15 апреля 1762 г. На это указывает его заметка в «Химических и оптических записках»: «Апреля 15 дня сего 1762 года учинена проба трубы катадиоптрической об одном зеркале, и мое изобретение произошло в действие с желаемым успехом» [51, с. 412].

Известно, что через двенадцать лет (в 1774 г.) аналогичную конструкцию зеркального телескопа предложил В. Гершель. Так как работа Ломоносова осталась неопубликованной, то такой зеркальный телескоп считается изобретением Гершеля.

Испытав опытный образец, Ломоносов решил изготовить зеркальный телескоп значительно больших размеров. Над изготовлением его трудились русские мастера-оптики: И. И. Беляев, Ф. Н. Тирютин, Н. Г. Чижов, А. И. Колотошкин и др. В отличие от опытного образца, этот телескоп Ломоносова имел зеркало с фокусным расстоянием более одного метра и являлся инструментом вполне совершенной конструкции с целым рядом приспособлений: «наводной трубкой» (искателем), микрометром, набором окуляров, сложным штативом и др.

Немало усилий пришлось потратить Ломоносову для отыскания сплава, пригодного для изготовления главного

зеркала его телескопа. После многочисленных проб Ломоносов остановился на следующем рецепте: «меди 27 фунтов, олова $13\frac{1}{2}$, цинку $13\frac{1}{2}$ » [51, с. 421].

Во времена Ломоносова качественное изготовление больших сферических зеркал представляло значительные технологические трудности. «Посмотрим, — писал Ломоносов, — сколько выделяется больших зеркал для объективов, имеющих надлежащую форму и отвечающих правилам оптики? Ни одного: сошлюсь на честное признание самих мастеров. Ибо: 1) они никогда не производят желательного фокусного расстояния; 2) собранные в фокусе лучи всегда образуют больший кружок, чем должны были бы образовывать согласно вычислению; 3) они по большей части так неправильно расположены, что, рассматривая сечения их вдоль оси, мы найдем бо́льшую часть кружков то более, то менее яркими — явный признак того, что поверхность объективного зеркала не везде имеет одну и ту же сферичность, вследствие чего лучи около фокуса и должны быть перепутаны» [50, с. 479].

Для нахождения положения фокуса главного зеркала своего телескопа Ломоносов применяет новый, оригинальный способ. На разных расстояниях от центра зеркала он располагает непрозрачную диафрагму с маленькими отверстиями. За фокусом зеркала Ломоносов ставит непрозрачный экран и по нему наблюдает, как меняется качество изображения. Самое хорошее изображение на экране получается тогда, когда экран находится в точке, соответствующей наилучшему фокусу. Интересно отметить, что подобный же способ через 137 лет после Ломоносова предложил немецкий оптик И. Гартман [52].

К сожалению до нашего времени не сохранился уникальный однозеркальный телескоп Ломоносова. Однако в коллекции Эрмитажа в Ленинграде имеется микрометр, изготовленный русским мастером А. И. Колотошкиным для этого инструмента.

Ломоносов также произвел сравнительный анализ зеркальных телескопов с линзовыми телескопами и показал преимущества зеркальных систем.

Ломоносов был, по-видимому, и первым русским фотометристом. В его «Химических и оптических записках» дается описание фотометрической трубки: «Photometria». «Рассуждая свет ночной от одних звезд, заключить можно, что их диаметр не так мал, как думают. Итак, в камеру выбеленную впускать свет солнечной сквозь разные дырки

на бумагу, чтобы от ней во всю камеру свет распространился, и мерить свет, читая такую печатную книгу, кою можно при одном сиянии звезд читать зимою. Апертуру разделить на число звезд видимых, число покажет диаметры звезд.

Вместо бумаги взять раздробленную мелко ртуть, поставить среди покоя, рефлексию лучей зеркалом сделать на ртуть с другой стороны, чтобы повсюду свет рассыпался. Вместо литер употребить пункты или черты разной величины на бумаге, для того сделать раздвижную трубку. Высинить внутри так бело, чтобы с ясным небом издали не распознать» [51, с. 433—434].

Здесь Ломоносов излагает мысли о постройке звездного фотометра «для сравнения света звезд», который был им впоследствии изготовлен. Это подтверждается «Росписью сочинениям и другим трудам советника Ломоносова», где, между прочим, значится и «Светомерная труба для исследования расстояния и величины неподвижных звезд». Весьма вероятно, что этим прибором М. В. Ломоносов пользовался во время солнечного затмения.

Большое практическое значение для инструментальной оптики того времени имело также то, что Ломоносов

Таблица 3

Сведения о рецептах оптического стекла, которые употреблял и исследовал М. В. Ломоносов [54, с. 69] (числа выражены в процентах)

№ рецепта	Песок кварцевый SiO_2 + при- меси	Кварц (дробленый) SiO_2	Бура B_2O_3	Сурик (свинцовый, Pb_3O_4 и PbO)	Поташ K_2CO_3 и K_2O	Селитра (калиевая) KNO_3 и K_2O	Абс. вес, г
1	50,0					50,0	307
2	49,2		1,6			49,2	312
3		49,2	1,6			49,2	312
4	50,0					50,0	307
5		27,2		72,8			564
6	27,2			71,8			564
7	42,8			14,4	42,8		359
8	49,2		1,6		49,2		312
9	61,0			30,5		8,5	505

занимался разработкой рецептов и способов варки оптического стекла (табл. 3).

Чтобы получить хорошее оптическое стекло, Ломоносов «сделал больше четырех тысяч опытов, коих не токмо рецепты сочинял, но и материалы своими руками по большей части развешивал и в печь ставил» [53, с. 396]. Для снижения внутренних напряжений в стекле Ломоносов проводил его «откалку».

На протяжении всей своей жизни Ломоносов построил не менее десяти новых оптических приборов. По словам С. И. Вавилова, он был «одним из самых передовых оптиков своего времени и безусловно первым русским творческим оптотехником» [4, с. 695].

ИВАН ПЕТРОВИЧ КУЛИБИН

Иван Петрович Кулибин родился в Нижнем Новгороде 10 апреля 1735 г. в семье небогатого торговца мукой. Еще в детстве он проявил интерес к технике: строил модели мельниц, шлюзов, судов и т. п. По случаю Кулибин приобрел в Москве у одного часового мастера некоторые инструменты для изготовления часов и занялся часовым делом. В 1764—1767 гг. он сконструировал знаменитые часы «яичной фигуры», которые были преподнесены Екатерине II, посетившей Нижний Новгород в 1767 г.

Во время работы над этими часами Кулибин впервые познакомился и с оптическими инструментами. В 1764—1766 г. он изготовил «две трубки зрительные длиною по три аршина, да один. . . микроскоп». В 1764 г. купцом Извольским был привезен в Нижний Новгород зеркальный телескоп системы Грегори. Разобрав его, Кулибин самостоятельно изготовил аналогичный инструмент.

Сам Кулибин так писал об этой работе: «Потом стал искать разными опытами, как полировать стекла зрительных труб, которым сделал особливую машину и через то сыскал оным полировку. По сем изобретении сделал две трубки зрительные длиною по три аршина да один посредственный, собранный из пяти стекол микроскоп. . . По случаю получил я для рассмотрения телескоп с металлическими зеркалами английския работы, который разобрав, как в стеклах, так и в зеркалах стал искать к солнцу зажигательные точки и снимать отдаленную от тех зеркал и стекол до зажигательных точек меру, по которым бы можно было познать, каковыя и вогнутостию и выпуклостию для стекол и зеркал потребно будет сделать медные формы



ИВАН ПЕТРОВИЧ КУЛИБИН
(1735—1818)

для точения на песке зеркал и стекол оных, и со всего того телескопа сделал рисунок. . . Потом стал делать опыты, как бы против того составить и металл в пропорцию; а когда твердостью и белостью стал у меня выходить на оных сходственен, то из того по образцу налил я зеркал, стал их точить на песке на реченных и уже сделанных выпуклистых формах, и над теми точеными зеркалами начал делать опыты, каким бы мне способом найти им такую ж чистую полировку, в чем и продолжалось немалое время. Наконец выпробовал одно зеркало в полировке на медной форме, натирая оную со жженным оловом и деревянным маслом. И так с тем опытом из многих сделанных зеркал вышло одно большое зеркало и другое противное малое в пропорцию. . .» [55, с. 426].

Из приведенного отрывка видно, что Кулибин самостоятельно сумел определить фокусные расстояния линз и зеркал, раскрыл состав сплава для изготовления металлического зеркала, придумал и построил специальный станок для шлифовки и полировки линз и зеркал.

Екатерина II высоко оценила часы Кулибина, и в мае

1767 г. он был вызван в Петербург, где получил должность механика в Петербургской академии наук. В соответствии с «кондициями, на которых нижегородский посадский Иван Кулибин вступает в академическую службу», в его обязанности входило: «1-е, иметь главное смотрение над инструментальною, слесарною, токарною, столярною и над тою палатою, где делаются оптические инструменты, термометры и барометры, чтоб все работы с успехом и порядочно производимы были. . . 2-е, делать нескрытное показание академическим художникам во всем том, в чем он сам искусен. 3-е, чистить и починивать астрономические и другие при академии находящиеся часы, телескопы, зрительные трубы и другие, особливо физические инструменты. . .» [55, с. 480]. Кулибин начал работать в академии в 1769 г. и проработал там около тридцати лет.

В личных и служебных документах Кулибина за 1770—1777 гг. имеется большое количество «Рапортов в Академическую комиссию» об изготовлении и ремонте телескопов (в основном зеркальных — по схеме Грегори), микроскопов, астролябий. В «Реестре разных механических, физических и оптических изобретений Санктпетербургской имп. Академии наук механика Ивана Петровича Кулибина» имеется запись: «Между тем сделано и исправлено мною при Академии наук и присылаемых для императорских дворцов разных оптических инструментов, как то: грегорианских и ахроматических телескопов, каковых находящиеся при Академии мастера не исправляли. . .» [55, с. 426].

Уже в первые месяцы своей работы в Академии наук Кулибин успешно справляется с изготовлением опытного образца двухфутового телескопа и ремонтом грегорианского телескопа, о чем свидетельствует отзыв о нем академика С. Я. Румовского.

Кулибин блестяще разбирается во всех тонкостях конструирования оптических инструментов. В своей заметке «К следующему чертежу оглазные стекла искать. . .» Кулибин сообщает о методе нахождения фокуса сферического зеркала для определения местоположения окуляра и приводит при этом рисунок, сопровождаемый следующим текстом: «. . . трубку же со оглазными стеклами можно доводить до самого фокуса, преломленного от малого плоского приземного зеркала, которую трубку диаметром больше не делать. . . чтобы не загораживала преломлению в падающих во обеих зеркалах около центров

лучам» [55, с. 379—380]. Конструкторский талант Кулибина проявляется и в его заметке «О тубусе или гершелевом телескопе».

С целью повысить качество изготавливаемых оптической мастерской инструментов Кулибин предпринял в 1771 г. создание новых форм, так как старые формы, как он писал, «все источены и ни одной пары верной не имеется». Он сообщил Академической комиссии, ведавшей делами мастерских, что намерен изготовить «для точения и полирования стекол и металлических зеркал несколько пар форм разной величины, набирая от линии до дюйма, от дюйма до фута, от фута до нескольких футов, прибавляя по несколько одна другой больше, чрез которые можно было бы делать микроскопы солнечные и сложные разных пропорций, зрительные трубы, разной величины телескопы и протчия зрительные стекла разных фокусов» [56, с. 140—141].

30 августа 1796 г. Кулибин пишет заметку «О делании первой машины для стекол» с пометой «Прочестъ обстоятельнее», в которой сообщает о своем проекте постройки станка для шлифовки и полировки зеркал и возможности его использования для изготовления стеклянных объективов. В сохранившихся чертежах Кулибина имеется несколько рисунков сконструированных им станков для шлифовки и полировки линз. В своей заметке «О шлифовке и полировке криволинейного зеркала» Кулибин дает описание методов шлифовки зеркал при помощи наждака и полировальника из красной меди.

В «Мнении о криволинейных зеркалах» Кулибин проводит сравнение относительной сложности обработки сферических и асферических зеркал. Он подробно рассматривает процесс изготовления вогнутого зеркала, начиная от заготовки диска и кончая его полировкой включительно. Рецептúra сплавов для изготовления металлических зеркал, способы варки и рецептúra флинтowego стекла привлекали внимание Кулибина. В своей работе изобретатель опирается на опыт и традиции, накопленные сотрудниками старейшей академической мастерской (оптическая мастерская была основана в 1726 г.), где еще Ломоносовым было налажено производство многих оптических инструментов и где работали опытейшие и искуснейшие оптики-механики.

Совместно с И. И. Беляевым И. П. Кулибин значительно улучшил работу оптической мастерской. Коли-

чество и качество выпускавшихся ею оптических инструментов значительно повысилось. В оптическую мастерскую стали обращаться с заказами на линзы и оптические инструменты не только академики и профессора самой Академии наук.

Кулибин был не только великолепным конструктором оптических приборов, но и хорошо разбирался в их теории. В «Мнении о сферических зеркалах» Кулибин писал: «1-е. Сферические зеркала, имея длинные радиусы и фокусы в рассуждении преломляющихся лучей, по малости диаметра зеркального и по длине фокуса во одной точке лучи собрать не могут, ибо в зеркале хотя на один волос в краю его будет крутости сферической, то в фокусе выйдет фальши столько больше, во сколько раз длиннее фокус и полудиаметра зеркального. . . 2-е. По такой длине как от большого зеркала, так и малого приземного параллельности или фокусы верно во один пункт установить трудно» [55, с. 382]. Таким образом, Кулибин имел четкие представления о сферической аберрации вогнутого сферического зеркала. В своем «Мнении о криволинейных зеркалах» он предлагает уменьшить величину сферической аберрации вогнутого зеркала за счет придания этому зеркалу асферической формы, благодаря которой «параллельность между большим и малым зеркалом сыскать легче, также и пункты фокусов на одной линии сойдутся удобнее» [55, с. 383]. В заметке «О объективном стекле» Кулибин проводит сравнение оптических свойств трехлинзового объектива телескопа и металлического вогнутого зеркала. При этом на полях рукописи им делается помета: «Рассмотреть и сие попорядочнее» [55, с. 391]. Этот замысел он осуществил в своей заметке от 3 сентября 1796 г. «О поощрении к делу стекла»: «В сравнении ахроматических телескопов, у коих объективное стекло собрано из 3-х стекол, следственно должно вышлифовать и заполировать 6 сторон у стекол, то как бы верно ни вычислено было, однако в таком множестве должно быть втрое более погрешности в полировке, нежели в одном стекле. На первый же случай у криволинейного хотя и будет от неверности линии и полировки погрешности втрое более одного ахроматического стекла, то и тем может с трех стекольным объективом ахроматического телескопа сравняться» [55, с. 401].

Во время своей работы в Петербургской академии наук Кулибин накопил большой опыт в проектировании и

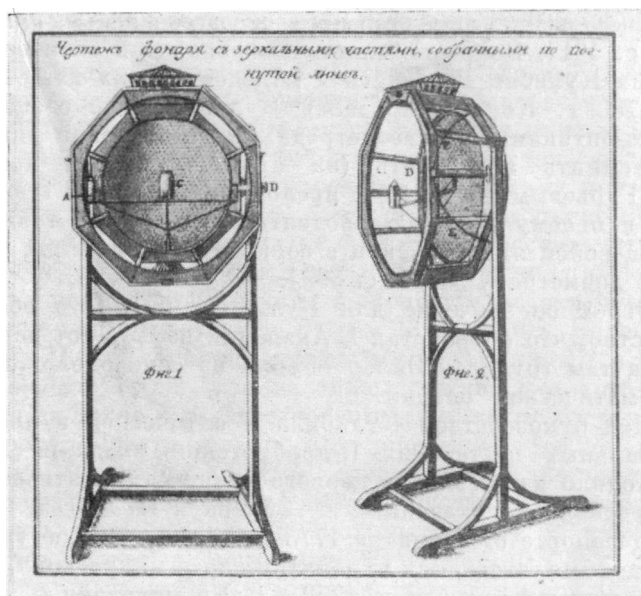


Рис 17. Фонарь И. П. Кулибина с зеркальным отражателем (1780)

технике изготовления самых различных оптических приборов. В конце 70-х годов XVIII в. им был создан фонарь с зеркальным отражателем (рис. 17), явившийся предшественником современного прожектора. Кулибин не только создал несколько проектов фонарей для уличного освещения, освещения дворцов, для маяков, экипажей, промышленных предприятий и т. д., но и детально разработал технологию их изготовления. При этом изобретатель создавал различные приспособления и станки, необходимые для изготовления фонарей [57].

Занятия практической оптикой Кулибин сочетал с изучением специальной литературы. Так, он был знаком с оптическими работами Г. В. Крафта. В Архиве АН СССР хранится тетрадь Кулибина с конспектами статей Крафта. В записях Кулибина можно встретить, например, такие строки: «Напомнить попросить оптических книг у господина Д. П. П. Б.¹⁰, где я, их вспоминая, нынче и видел

¹⁰ Д. П. П. Б., по всей вероятности, Павел Петрович Бакунин (1762—1805), который занимал должность директора Академии наук с ноября 1796 по 1805 г.

чертежи разных преломлений и рассеений в стеклах» [55, с. 401]. Вопросы технологии обработки оптического стекла Кулибин мог найти в «Академических известиях» за 1780 г. Консультировался Кулибин и со специалистами-оптиками. В его тетрадях имеется такая запись: «Напомнить поговорить (на полях рукописи помета: с г. Гурьевым. — В. Г.) о преломлении лучей в стеклах, как и почему и какую продолговатую делают точку от сферической линии, как и в зеркалах сферических большого диаметра. . .» [55, с. 399].

Огромное значение для Кулибина имело то обстоятельство, что он работал в Академии наук в тот период, когда там трудился Эйлер — один из основоположников ахроматической оптики.

Под руководством Кулибина в оптической и инструментальных мастерских Петербургской академии наук проходило изготовление первого в мире ахроматического микроскопа по указаниям Л. Эйлера и Н. Фусса.

В рапорте от 8 января 1773 г. имеется первое упоминание об изготовлении ахроматического микроскопа, производившемся в декабре 1772 г.: «По присланной копии с комисской резолюцией и по наставлению г. профессора Леонарда Эйлера для делания нового манера микроскопа восемь пар медных лекал для точения медных форм делаются» [55, с. 481]. Упомянутые выше формы были изготовлены в марте. В конце марта началось изготовление линз к микроскопу. 5 июня Кулибин сообщил, что «по наставлению г. профессора Леонарда Эйлера нового микроскопа стекла выполированы». Тубус микроскопа изготовлялся с апреля по июнь, о чем свидетельствует следующая запись: «В учрежденную при Академии наук комиссию всепокорнейший рапорт. Сего 1773-го году с 7-го мая по 1-е число какие дела происходили при инструментальной, слесарной, токарной и барометрической палатах. А именно: . . . по присланной копии с комисской резолюции и по наставлению комисского члена г. профессора Леонарда Эйлера нового манера медная с прибором микроскопная трубка делается» [55, с. 484].

8 июля 1773 г. учеником Шершневым было изготовлено вогнутое зеркало для преломления лучей. К изготовлению линз из флинта приступили в июле того же года, а 3 сентября 1773 г. Кулибин сообщил, что «учеником Шершневым ко оному ж микроскопу из флинтной материи стекла дополированы и впредь для заготовления

объективного стекла делаются к перспективным трубам. . . » [55, с. 489].

В печати, однако, не появилось ни одного сообщения о новом микроскопе. Вероятно, это было связано с тем, что инструмент получился не совсем удачным из-за исключительной трудности изготовления ахроматического трехлинзового объектива микроскопа. Каждая из линз этого объектива должна была быть диаметром около 3,5 мм (1/7 дюйма) и с радиусами кривизны, рассчитанными до тысячных долей дюйма. При этом общая толщина объектива должна была составлять около 1,4 мм, а промежутки между линзами — около 0,4 мм [31, с. 330]. Переводчик книги Н. Фусса на немецкий язык Г. С. Ключель в 1778 г. писал, что «столь тонкие линзы, какие здесь требуются, вряд ли могли быть изготовлены даже самым искусным мастером». Действительно, при уровне оптической технологии 70-х годов XVIII в. осуществить в точности ахроматический микроскоп Эйлера—Фусса было невероятно трудно, практически невозможно. В 1784 г., уже после смерти Эйлера, в Петербурге академиком Ф. Т. У. Эпинусом был рассчитан и изготовлен первый в мире ахроматический микроскоп. В Западной Европе первые ахроматические микроскопы появились лишь в 1807 г.

В заключение необходимо отметить, что деятельность Кулибина в области инструментальной оптики всегда отвечала первоочередным задачам развития русской науки и техники.

ЙОЗЕФ ФРАУНГОФЕР

Йозеф Фраунгофер родился 6 марта 1787 г. в маленьком городке Штраубинге на юге Германии, в 100 км от Мюнхена. Отец его был стекольщиком. К двенадцати годам он остался круглым сиротой и вынужден был поступить работать учеником в зеркальную и стекольную мастерскую.

В мае 1806 г. Фраунгофер поступил на оптическое отделение Мюнхенского механико-математического института, который был основан в 1802—1804 гг. и очень скоро получил всемирную известность как центр исследований в области прикладной оптики и геодезического приборостроения. В этом институте Фраунгофер занимался шлифовкой оптических линз на станках, сконструированных Либгерром.



ЙОЗЕФ ФРАУНГОФЕР
(1787—1826)

Непосредственным руководителем Фраунгофера был известный швейцарский мастер-оптик П. Л. Гинан, прославившийся благодаря своему искусству изготовления оптического стекла. Будучи 20-летним юношей Фраунгофер вскоре овладел всеми секретами производства и даже улучшил технологический процесс варки стекла, а кроме того, разработал оригинальные методы контроля стеклянной массы [58].

В 1809 г. Фраунгофер становится одним из руководителей фирмы, а в 1811 г. — ее директором. К тому времени там работало 48 оптиков.

В 1814 г. на основе оптических мастерских в Бенедиктбейерне была основана фирма «Утцшнейдер и Фраун-

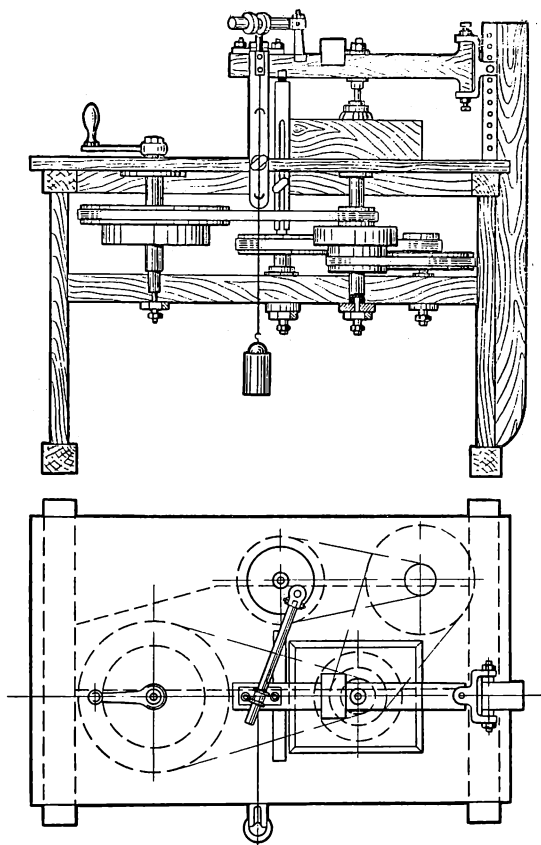


Рис. 18. Станок для полировки линз конструкции Й. Фраунгофера

гофер». Выпускаемые этой фирмой под руководством Фраунгофера оптические приборы и инструменты получили широкое распространение во всем мире. Фраунгофером были введены существенные усовершенствования в технологию изготовления больших ахроматических объективов. Совместно с П. Л. Гинаном он наладил фабричное производство хороших флинтгласа и кронгласа, а также внес существенные усовершенствования во все процессы изготовления оптического стекла. Им были разработаны оригинальные конструкции станков для полировки и шлифовки линз (рис. 18).

Фраунгофер предложил также принципиально новый способ обработки линз, называемый «способ шлифовки по радиусу». Для контроля качества обработки поверхностей линз Фраунгофер использовал пробное стекло, а для измерения радиусов кривизны линз — сферометр, конструкция которого была разработана Георгом Райхенбахом в начале XIX в. Использование пробного стекла для контроля поверхностей линз посредством наблюдения интерференционных «колец Ньютона» явилось одним из первых методов контроля качества обработки линз.

Основное затруднение в дальнейшем повышении качества оптических систем Фраунгофер видел в неточном определении показателей преломления линз, которое приводило к неправильной оценке аберраций. Фраунгофер поставил перед собой задачу найти способ более точной оценки величины относительной дисперсии линз, но это было связано с большими трудностями. Самым большим затруднением было то, что цвета в спектре плавно переходили один в другой и их не удавалось четко разделить. В поисках «разделительных меток» Фраунгофер приводил эксперименты по изучению спектров различных источников. В результате им были обнаружены светлые полосы в спектре масляной лампы, которые могли служить «разделительными метками».

Проводя аналогичные эксперименты с солнечным светом, Фраунгофер обнаружил в его спектре целую серию вертикальных темных полос разной интенсивности и ширины. На участке спектра от красного до фиолетового цветов он насчитал около 574 темных линий, самые заметные из которых он обозначил буквами латинского алфавита.

После обнаружения темных линий в солнечном спектре Фраунгофер мог проводить более точные измерения относительной дисперсии линз. Это создавало реальную возможность использования уже довольно точных методов расчета аберраций оптических систем в практических целях. До тех пор пока нельзя было с достаточной точностью определить относительную дисперсию стеклянных линз, невозможно было и изготовление хороших ахроматических объективов.

В 1827 г. Фраунгофер впервые применил дифракционную решетку для получения и изучения спектров. Первая такая решетка была изготовлена, по-видимому, в 1785 г. американским астрономом Риттенгаузом, но практического применения она тогда не получила.

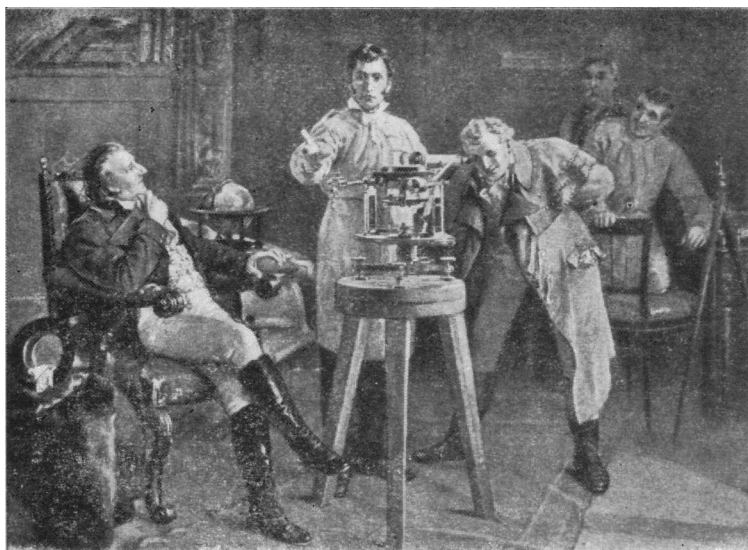


Рис. 19. Й. Фраунгофер демонстрирует свой спектроскоп

Свои первые дифракционные решетки Фраунгофер изготовлял из проволоки, натянутой между двумя параллельными канавками винтовой резьбы. Число штрихов такой решетки составляло от 40 до 340 на дюйм. Более совершенные решетки Фраунгоферу удалось изготовить путем нанесения штрихов на тонком слое золота, покрывавшем стекло. Самая лучшая решетка Фраунгофера содержала около 8000 штрихов на дюйм.

Открытие Фраунгофером возможности точного определения относительной дисперсии оптических стекол позволило ему значительно улучшить качество изготавливаемых им оптических инструментов.

Первая конструкция ахроматического объектива была разработана Фраунгофером еще в 1812 г., а в 1817 г. им был создан оптический шедевр—двухлинзовый ахроматический и апланатический объектив диаметром 25 см с фокусным расстоянием в 4,3 м [59].

Ахроматические объективы телескопов Фраунгофера состояли из двояковыпуклой линзы из кронгласа и слабой плоско-вогнутой линзы из флинтгласа. Первичная хроматическая абберрация исправлялась в них относительно

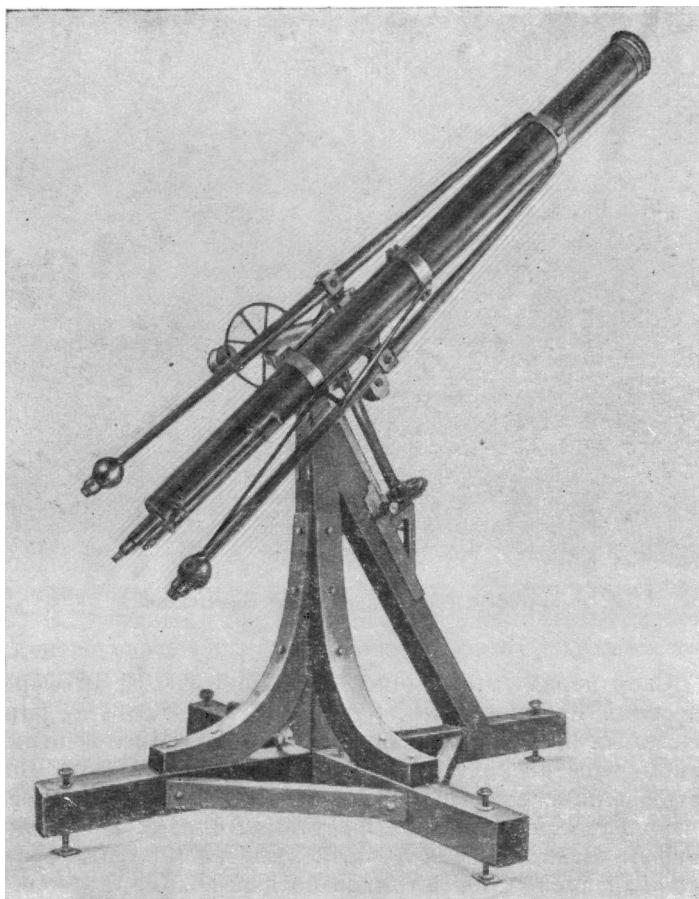


Рис. 20. Большой телескоп-рефрактор Й. Фраунгофера (1824). Экспонат старой Тартуской астрономической обсерватории

хорошо, сферическая aberrация была исправлена только для одной зоны. Интересно отметить, что, хотя Фраунгофер не знал об «условии синусов», его ахроматические объективы практически не имели комы.

В период после 1820 г. Фраунгофер выпустил большое количество высококачественных зрительных труб и телескопов-рефракторов с ахроматической оптикой [60]. Самым крупным его достижением был изготовленный

в 1824 г. ахроматический телескоп-рефрактор со свободным отверстием объектива 9 дюймов (22,8 см) (рис. 20).

Большим успехом Фраунгофера было изготовление гелиометра оригинальной конструкции. Объектив этого инструмента был составлен из двух равных частей, которые могли перемещаться друг относительно друга при помощи специального микрометричного винта. По сути дела это был объективный микрометр двойного изображения, способный измерять малые угловые расстояния небесных светил. Объективный микрометр Фраунгофера был установлен на 16-сантиметровом рефракторе с фокусным расстоянием 2,6 м.

Кроме описанных выше оптических инструментов, Фраунгофер в 1814—1815 гг. разработал оригинальную конструкцию окулярного фотометра, смонтированного на телескопе-теодолите солнечного спектроскопа. Он предназначался для спектрофотометрических измерений непрерывного спектра Солнца.

С помощью 4,5-дюймового телескопа-рефлектора Фраунгофер провел исследования явления дифракции. Решетку он располагал перед объективом телескопа. В изображении звезды им были обнаружены дифракционные максимумы и минимумы.

В 1823 г. Фраунгофер назначается хранителем физического кабинета Мюнхенского университета и в том же году избирается действительным членом Баварской академии наук.

Напряженный каждодневный труд рано подорвал слабое здоровье Фраунгофера. Он скончался от туберкулеза 7 июня 1826 г. в 39-летнем возрасте.

Вклад Фраунгофера в развитие прикладной оптики значителен, и остается только пожалеть, что его имя редко упоминается в курсах прикладной оптики, а его труды по прикладной оптике все еще мало изучены историками науки.

ВИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ

Известный астроном Вильям Гершель родился в Гановере в 1738 г. Отец его был музыкантом. Сам Вильям Гершель в начале своей деятельности также был довольно известным музыкантом и композитором. Он самостоятельно изучал иностранные языки, теорию музыки, мате-



ВИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ
(1738—1822)

матику, оптику. Оптику Гершель изучал по книгам известного английского оптика XVIII в. Р. Смита.

Первые наблюдения звездного неба Гершель производил с помощью простого двухфутового телескопа, купленного им в 1773 г. Однако этот инструмент, обладающий довольно слабым увеличением, не удовлетворял Гершеля. Между тем средств для покупки более мощного инструмента у Гершеля не было, и он решает сам изготовить нужный ему телескоп.

Научившись шлифовать вогнутые металлические зеркала, Гершель изготовил свой первый рефлектор по схеме Ньютона (зеркало имело в диаметре 20 см и обладало фокусным расстоянием около 2 м). С этим рефлектором Гершель начал систематические наблюдения звездного неба, которые привели его к открытию в 1781 г. планеты Уран. За это открытие молодой ученый награждается

медалью Лондонского королевского общества и получает должность придворного астронома.

Гершель изготовил собственноручно несколько десятков рефлекторов. Для этого он купил в 1773 г. у одного любителя-оптика большой набор инструментов для изготовления зеркальных телескопов. Насколько увлеченно Гершель занимался изготовлением своих рефлекторов, рассказывает в своей книге Ф. Араго: «Когда Гершель начинал полировать зеркало для телескопа, то он работал непрерывно десять, двенадцать, четырнадцать часов. Он не выходил из своей мастерской даже для обеда; для подкрепления своих сил принимал пищу из рук своей сестры. Ни для чего в свете Гершель не оставлял своей работы; оставить работу — значило испортить ее» [61, с. 156].

Стремясь к уменьшению потерь света и к увеличению яркости изображения, В. Гершель упростил ньютоновскую конструкцию телескопа. Он слегка наклонил главное зеркало, что позволило ему обойтись без дополнительного малого плоского зеркала. (Как мы помним, то же самое сделал М. В. Ломоносов еще в 1762 г., т. е. много раньше В. Гершеля.)

Постепенно увеличивая размеры изготавливаемых зеркал, В. Гершель в 1785 г. отшлифовал самое большое из них, диаметром около 1,2 м. Им был снабжен огромный зеркальный телескоп длиной 12 м. В то время это был величайший в мире рефлектор. Сведения о нем содержатся в работе Гершеля 1795 г. «Описание сорокафутного отражательного телескопа» [62].

В России телескопы В. Гершеля получили известность во второй половине XVIII в. [63]. Первым документом, в котором упоминаются телескопы В. Гершеля, является протокольная запись Академического собрания от 8 июля 1782 г. На этом собрании профессор А. И. Лексель зачитал письмо Магеллана «Относительно новых телескопов г. Гершеля, которые увеличивают и необычайно приближают самые удаленные предметы».

В 1790 г. в журнале Петербургской академии наук «Новые ежемесячные сочинения» была опубликована статья Гершеля «О телескопах, исправленных г. Гершелем, и его астрономических наблюдениях и открытиях» [64]. Эта статья содержала также интересный исторический материал.

В начале 90-х годов XVIII в. к телескопам В. Гершеля проявила большой интерес Екатерина II. Русскому посланнику в Лондоне князю Воронцову 8 ноября 1793 г. было направлено письмо такого содержания: «Ее императорское величество желает иметь телескоп не менее семи футов, сделанный г. Гершелем. Сколько потребно будет денег на зарплату за оный и за перевоз, Ваше сиятельство благоволите выслать вексель в Кабинет ее императорского величества, по которому тотчас Ваш банкир удовлетворен будет» [65, с. 283].

Зеркальный десятифутовый телескоп работы Гершеля был привезен в Петербург в июле 1795 г. и установлен в Эрмитаже. После основания в 1839 г. Пулковской астрономической обсерватории телескоп Гершеля был передан этой обсерватории, где и находился до 1941 г. Осенью 1941 г. Пулковская обсерватория была полностью уничтожена фашистами; погиб и зеркальный телескоп Гершеля.

Известно, что, кроме десятифутового телескопа, Екатерина II заказывала В. Гершелю еще и другой, более мощный телескоп. В начале 1794 г. в адрес В. Гершеля сотрудником английского посольства в Петербурге Шарпом было отправлено соответствующее письмо. 10 марта 1794 г. Шарп получил от Гершеля ответное письмо, которое было в срочном порядке рассмотрено 17 апреля 1794 г. на собрании Петербургской академии наук. В протоколе этого заседания имеется соответствующая запись: «Ее сиятельство госпожа княгиня Дашкова прислала при выписке из журнала Академической канцелярии от 17 апреля два чертежа отражательных телескопов господина Гершеля, в 20 и 40 футов, с приложением русского перевода письма господина Гершеля к господину Шарпу, написанного по-английски; в этом письме содержится описание телескопов, их устройство и их стоимость. Письмо было передано господину надворному советнику Иноходцеву, который, прочитав его, сообщит его господину коллежскому советнику Румовскому и другим академикам математического класса, которые пожелают с ним ознакомиться» [63, с. 287—288].

Имеются сведения о том, что В. Гершелем были сделаны и отправлены в Россию основные части двадцатифутового телескопа его конструкции. Однако в связи с крайне неблагоприятным стечением обстоятельств (смерть Екатерины II, тяжелое финансовое положение

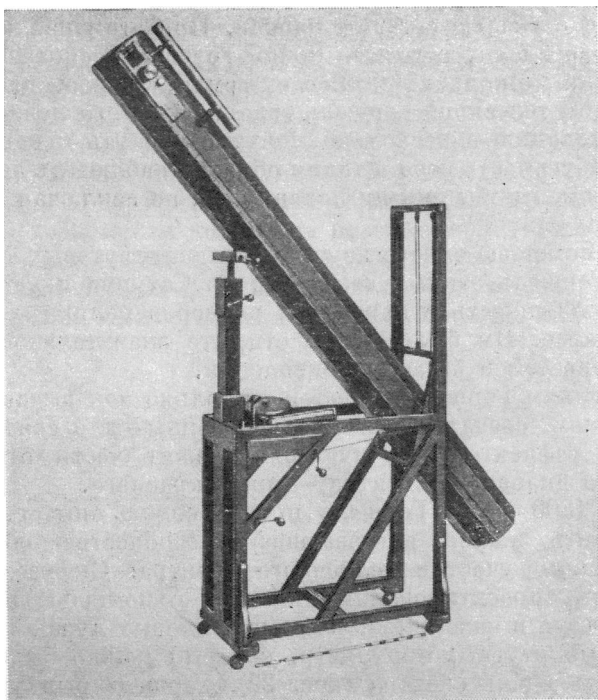


Рис. 21. 7-футовый рефлексор В. Гершеля

России, пренебрежительное отношение нового правительства к развитию науки и т. п.) упомянутый телескоп Гершеля собран не был, а детали его, пролежав длительное время в ящиках, в начале XIX в. были списаны.

В настоящее время в одном из музеев СССР (старая Астрономическая обсерватория г. Тарту) хранится экземпляр телескопа-рефлектора работы В. Гершеля (конец XVIII в.). Диаметр его зеркала составляет 16,7 см, инструмент выполнен по схеме Ньютона. Этот семифутовый рефлексор был в 1806 г. приобретен Тартуской обсерваторией и долгое время использовался для различных астрономических наблюдений.

Гершелем было построено около 200 семифутовых телескопов (рис. 21), 150 десятифутовых и свыше 100 двадцатифутовых. Трубы двадцати- и сорокафутовых телескопов были настолько тяжелыми, что их приходилось подвешивать

вать с помощью системы блоков. При этом наблюдатель располагался у верхнего конца трубы телескопа на расстоянии нескольких метров от земли. О своем двадцатифутовом телескопе Гершель говорил, что его можно было «по желанию в несколько минут повернуть и направить на любую часть неба и таким образом наблюдать небесные объекты, где бы они ни находились, не исключая зенита» [66, с. 9].

С помощью одного из своих двадцатифутовых телескопов Гершель открыл два спутника Сатурна и установил непериодичность в изменении размеров полярных шапок на Марсе. Им было также открыто значительное число туманностей и звездных скоплений.

Вильям Гершель известен не только как выдающийся астроном, создатель самых совершенных для своего времени рефлекторов. Ему принадлежит честь открытия нового диапазона спектра — инфракрасного.

В 1800 г. В. Гершель провел серию опытов, чтобы выяснить, какой нагревающей способностью обладают различные участки солнечного спектра. Он исследовал спектр, спроектированный на стол с помощью призмы, используя в качестве приемника тепловых лучей чувствительный ртутный термометр, который можно было передвигать вдоль спектра (рис. 22). Гершель был удивлен, обнаружив, что нагрев возрастал по направлению к красному концу спектра и не достигал максимума до тех пор, пока термометр не был выдвинут за границу видимого участка спектра. Этим он установил, что «существуют солнечные лучи, менее преломляемые, чем те, которые действуют на орган зрения, и обладающие наибольшей нагревательной силой» [67, с. 256]. Опыт В. Гершеля, в результате которого произошло открытие инфракрасного излучения, явился, с одной стороны, логическим продолжением его оптических и астрономических исследований, а с другой стороны, продолжением опытов И. Ньютона по разложению света в спектр. Но В. Гершель не ограничился чисто визуальным наблюдением солнечного спектра, он пошел дальше, поставив задачу количественной оценки распределения энергии в полученном им спектре. Именно эта попытка количественной оценки и привела его к обнаружению совершенно нового вида излучения [68].

На заседании Лондонского королевского общества 27 марта 1800 г. В. Гершель сделал первое сообщение

о своем открытии: «Меня очень поразило, — говорил он, — что, применяя эти стекла, я в одних случаях испытывал ощущение теплоты, хотя при этом было очень мало света, но не получал ощущения теплоты в тех случаях, когда было много света. Мне пришло в голову, что нагревательная способность неравномерно распределена между различными цветными лучами. Придя к этому выводу, я считал возможным допустить неравномерное распределение и в отношении светимости» [67, с. 258].

20 апреля 1800 г. В. Гершель сделал второе сообщение под названием «Эксперименты над преломляемостью невидимых лучей».

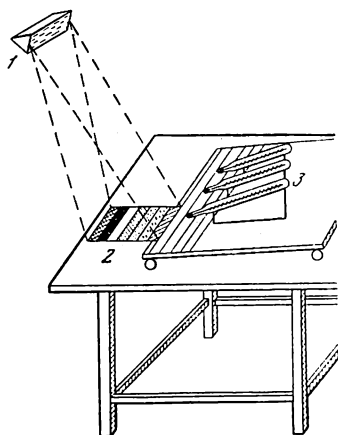
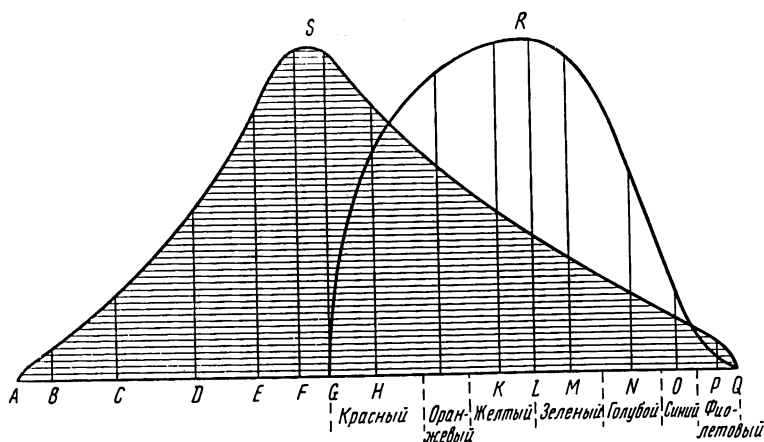


Рис. 22. Опыт В. Гершеля (1800)

- 1 — призма;
- 2 — спектр;
- 3 — термометр

Рис. 23. Кривые распределения интенсивности энергии излучения в солнечном спектре, полученные В. Гершелем в 1800 г.

R — распределение интенсивности энергии излучения в видимой области спектра;
S — относительный эффект нагрева в различных участках спектра



димых лучей Солнца». Основной целью этого сообщения было «дать сравнительный анализ лучей, вызывающих теплоту, и лучей, вызывающих свет» [67, с. 291].

В. Гершелем были получены кривые распределения интенсивности энергии излучения в спектре (рис. 23). Выводы, которые он сделал на основе изучения этих кривых, лучше всего передать словами самого Гершеля: «Простой взгляд на две фигуры (S и R), наложенные одна на другую, позволяет наблюдать, как по-разному призма преломляет тепловые и видимые лучи. . . Эти два пика кривых S и R не совпадают. В R , где освещенность наибольшая, совсем мало тепла, а в S , где теплее всего, совсем нет света!» [69, с. 44].

Следует отметить то обстоятельство, что В. Гершель не имел точного способа количественного измерения открытого им излучения, поэтому полученные им кривые носят субъективный и неточный характер. Позднее, когда были открыты основные законы теплового излучения, стало ясно распределение энергии излучения вдоль спектра в зависимости от длины волны и температуры [70]. В. Гершель провел тщательные исследования открытого им излучения и показал, что это излучение отражается и преломляется согласно законам оптики. Он показал также, что тепловое излучение таких источников, как свеча, раскаленная докрасна кочерга и даже домашняя печь, являясь невидимым, подчиняется тем же законам, что и солнечное тепловое излучение. Он предполагал, что это излучение имело ту же природу, что и свет, отличаясь от него только «количеством движения». (Для названия открытого им излучения он предложил термин «невидимый свет».) Правильность этого предположения выяснилась лишь много лет спустя, когда стало известно простое соотношение между количеством движения и длиной волны кванта света. В. Гершель не имел возможности доказать свое предположение, которое оставалось спорным почти столетия. Обнаруженное в 1800 г. невидимое излучение получило в дальнейшем название «инфракрасного» (этот термин ввел в 1881 г. В. Абней), так как оно было расположено за видимым красным участком спектра.

Открытие В. Гершелем нового участка спектра привело впоследствии к появлению довольно обширного класса новых приборов — оптико-электронных [71], работающих в этом спектральном диапазоне.

Таким образом, прикладная оптика обязана Вильяму Гершелю, во-первых, созданием самых совершенных по тому времени телескопов-рефлекторов, с помощью которых было сделано много выдающихся открытий, а во-вторых, открытием нового участка спектра.

ОГЮСТЕН ЖАН ФРЕНЕЛЬ

Выдающийся французский физик Огюстен Жан Френель родился 10 мая 1788 г. в Бройли, близ Парижа. Окончив в 1806 г. Политехническую школу, а затем в 1809 г. Школу мостов и дорог, он в течение ряда лет работал инженером в различных департаментах Франции. Эти годы были тяжелыми для ученого. Он не мог не чувствовать, сколь мало его возможностям соответствует порученная ему работа. В провинциальной глуши, глубоко не удовлетворенный работой Френель старается заполнить душевную пустоту самостоятельными научными исследованиями. Так он приходит к своему увлечению оптикой, прошедшему через всю его короткую и трудную жизнь (он умер в 1827 г.). Однако только последние годы жизни принесли Френелю общее признание. В 1823 г. он был избран членом Парижской академии наук, а в 1825 г. — членом Лондонского королевского общества.

В 1815 г. Френель получил возможность посвятить свой досуг изучению явления дифракции. Известно, что первые шаги в этом направлении были сделаны Т. Юнгом в 1802—1807 гг. Тем не менее вклад Френеля в изучение дифракции значителен. Им была проведена серия новых качественных экспериментов, в результате которых была создана законченная теория дифракции. Проводя опыты с дифракцией на нити, Френель с позиций волновой теории и независимо от Юнга сформулировал принцип интерференции.

Френель всесторонне исследовал явление дифракции и установил условия, при которых она возникает.

В работе Френеля «Мемуар о дифракции света» (1819 г.), представленной по настоянию Араго на конкурс академии, был решен один из важнейших вопросов оптики — вопрос о причине прямолинейности распространения света.

Очень интересна переписка Юнга и Френеля. Сначала Юнг отнесся к исследованиям своего коллеги весьма скептически. Не имея полного текста работы Френеля,



ОГЮСТЕН ЖАН ФРЕНЕЛЬ
(1788—1827)

зная о ней лишь со слов Араго, он пишет заметку для журнала «*Annales de chimie et de Physique*» и направляет ее Араго.

В этой заметке имеются такие строки: «Я не отрицаю пользы расчетов г-на Френеля. Я не видел его анализа, но результаты могут быть легко получены в очень простой форме» [72, с. 38]. Письмо заканчивалось словами: «Результат эквивалентен кажущемуся обращению волн при косвенном отражении, которое я наблюдал, но, признаюсь, не был в состоянии объяснить» [72, с. 38]. Тем

самым Юнг все же признавал ценность достигнутого Френелем результата.

В своем ответном письме Френель подчеркнул, что дифракционная формула, полученная Юнгом, неверна, на что Юнг ответил письмом от 16 октября 1819 г.: «Я признаю, что мое небольшое письмо к Араго страдает неточностью, и надеюсь, что оно не будет напечатано. Я рассмотрел проблему слишком наспех» [72, с. 38].

При обсуждении работы Френеля по дифракции света в Академии наук один из действительных членов этой академии — Пуассон — выступил с замечанием о том, что в соответствии с теорией Френеля в центре тени малого препятствия, установленного на пути световых лучей, должно наблюдаться светлое пятно. Сам Френель такого эксперимента не ставил и светлое пятно не наблюдал. Прямо на заседании академии этот эксперимент был проведен и светлое пятно было действительно обнаружено. Последнее произвело на присутствующих весьма благоприятное впечатление. Более поздние исследования также подтвердили правильность дифракционной теории Френеля.

Другим, не менее важным направлением оптических работ Френеля было исследование влияния поляризации на интерференцию световых лучей. Соответствующие опыты были проведены Френелем совместно с Араго. В середине 1816 г. Френель писал: «В опытах по дифракции мы с г-ном Араго искали, оказывает ли поляризация какое-либо влияние на образование внутренних каемок теней, но ничего не заметили. Мы оставили эти опыты на несколько месяцев, когда новые наблюдения побудили меня к ним вернуться» [72, с. 40].

Исследуя интерференцию поляризованных лучей, Френель использовал схему, приведенную на рис. 24. Этот способ получения интерференционной картины состоял в том, что с помощью зеркал OB_1 и OB_2 , расположенных под малым углом друг к другу, формируются два мнимых изображения источника S : S_1 и S_2 . Свет, идущий от этих источников, когерентен. Последнее дает возможность наблюдать интерференционную картину на экране AA в той области, где пересекаются световые пучки, идущие от S_1 и S_2 .

«Этот опыт,—писал Френель,—привел меня по аналогии к мысли проверить, не производят ли те два изображения, которые возникают, если расположить ромбoid

Рис. 24. «Бизеркала» Френеля

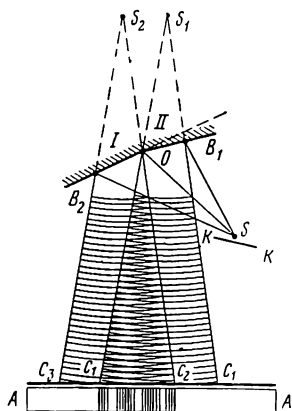
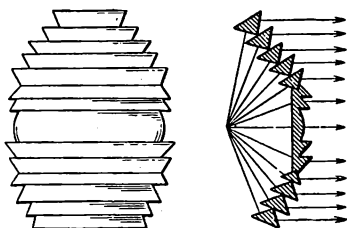


Рис. 25. Линза Френеля



из известкового шпата перед одной из световых точек, тот же эффект, что и лучи, которые отражаются от двух зеркал. Ромбоид, которым я пользовался, имел небольшую толщину, поэтому изображения были достаточно близки, чтобы ширину полос можно было измерить. Оставалось только удовлетворить условию равенства пройденных путей к тому же мгновению обеими системами волн. С этой целью я заставил необыкновенный луч ¹¹ пройти через стеклянную пластинку, толщина которой выбиралась так, чтобы при перпендикулярном падении этого луча на нее приблизительно компенсировалась вся разность хода, возникшая в кристалле между ним и обыкновенным лучом. Меняя наклон этой пластинки, можно было добиться полной компенсации. Несмотря на многократное повторение опытов, мне ни разу не удалось заметить полосы» [73, с. 201].

Таким образом, Френель обнаружил существенные особенности в явлении интерференции, наблюдая ее в поляризованном свете. Он установил влияние поляризации на интерференцию и обосновал поперечный характер световых волн, открыл круговую и эллиптическую поляризации, объяснил явление вращения плоскости поляризации, создал теорию двойного лучепреломления.

¹¹ Пучок световых лучей, войдя в кристалл известкового шпата, разделяется на два пучка: обыкновенный и необыкновенный. При этом обыкновенный луч подчиняется закону преломления, а необыкновенный луч этому закону не подчиняется.

Среди важнейших результатов, полученных Френелем, редко упоминается работа по созданию новой оптической системы маяка со ступенчатыми линзами. Между тем она имеет совершенно оригинальный характер и заслуживает специального рассмотрения.

Еще со времен Альхазена было известно, что лучи от источника света, помещенного в фокусе плоско-выпуклого стекла, падая на его плоскую поверхность, преломляются и далее следуют в направлении, параллельном оптической оси линзы. Для того чтобы воспользоваться этим свойством линзы для получения света маяка, необходимо было придать ей весьма большие размеры. Но даже если бы такая линза и была изготовлена, она обладала бы весьма существенными недостатками: большим поглощением света массой стекла, неправильным преломлением лучей вследствие неодинаковой плотности оптического стекла, а кроме того, имела бы значительный вес.

Линза, предложенная в 1819 г. Френелем (рис. 25), была лишена упомянутых недостатков. Она состояла из отдельных примыкающих друг к другу концентрических колец небольшой толщины, которые в сечении имели форму призм специального профиля. В силу такой конструкции вся система в целом даже при большом угле охвата имела небольшую толщину, а следовательно, небольшой вес и малое поглощение, что являлось ее неоспоримым преимуществом.

В своем докладе, зачитанном в Парижской академии наук 29 июля 1822 г. [74], Френель описал изобретенную им оптическую систему маяка, состоящую из восьми больших квадратных «линз Френеля» (рис. 26), каждая сторона которых была равна 760 см, а фокусное расстояние составляло 920 см. Будучи собраны вместе, эти линзы образовали вертикальную призму с восьмигранным основанием, центр которой представлял собой общий фокус линз. В этой точке помещался источник света (ламповая горелка с четырьмя концентрическими фитилями). Подробное описание такого рода источника света было помещено Араго и Френелем в апрельском номере журнала «*Annales de chimie et de physique*» за 1821 г.

Следующим шагом было создание вращающейся системы линз в целях получения «проблескового характера маячного огня». Первый аппарат такого типа, приводившийся в движение специальным механизмом, был установлен Френелем 23 июля 1823 г. на Кордуанском маяке.

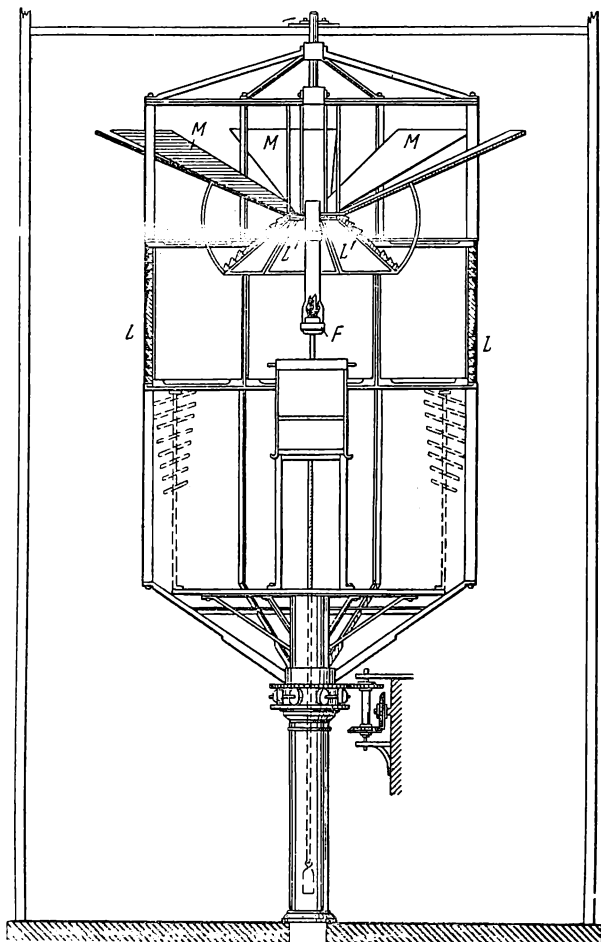


Рис. 26. Конструкция осветительной системы маяка. Чертеж Френеля

Эффект, производимый системой Френеля, был ошеломляющим. Мореплаватели всех стран поспешили разнести по всему миру весть о превосходстве нового маяка. С этого времени имя Френеля, предложившего новую оптическую систему для маяков, получило широкую известность среди имен других ученых, знаменитых своими работами в этой важной области.

Но Френель не остановился на достигнутых результатах и продолжал совершенствовать свою оптическую систему. Он заметил, что лучи света, расходящиеся во всех направлениях от горелки, помещенной в центре аппарата, частично теряются, проходя выше и ниже линз. Поэтому Френель поместил над линзами посеребренные зеркала, которые отражали падающие на них лучи параллельно оптической оси (в горизонтальном направлении).

Упомянутые выше оптические системы маяков Френеля получили название «катадиоптрических фонарей с полным внутренним отражением». В 1827 г. они были использованы для освещения набережных канала Сен-Мартен в Париже. Эти фонари имели диаметр всего 20 см, но давали очень яркий свет.

О большой расчетной, инженерной и организаторской деятельности Френеля по созданию различных оптических устройств рассказал в своих воспоминаниях брат Френеля — Леонор, который также многое сделал для улучшения конструкций оптических систем.

КАРЛ ФРИДРИХ ГАУСС

Оптические работы К. Ф. Гаусса, имеющие фундаментальное значение, мало изучены историками науки. Между тем в курсе «Прикладная оптика» часто встречаются такие выражения, как «идеальная оптическая система Гаусса», «плоскость Гаусса», «формула Гаусса» и др.

Гаусс родился 30 апреля 1777 г. в небольшом немецком городке Брауншвейге в крестьянской семье. В 1792 г. 15-летний Гаусс был зачислен в Карлово училище в Брауншвейге. Сначала он увлекался филологией, а затем его целиком захватила математика. В 1795 г. Гаусс поступает в Геттингенский университет. Годы учебы были наиболее плодотворными в жизни Гаусса. После окончания в 1798 г. Геттингенского университета Гаусс полностью посвящает себя математике, одновременно он занимается астрономией, геодезией и оптикой.

В области математики Гаусс проявил себя выдающимся ученым, явившимся родоначальником многих новых направлений (квадратичные вычеты, теория чисел, дифференциальная геометрия и др.). Он внес также существенный вклад в классическую теорию электричества и магнетизма, геодезию, теоретическую астрономию. Астрономией Гаусс занимался около 20 лет. В 1820 г. совместно с Гаусс-



КАРЛ ФРИДРИХ ГАУСС
(1777—1855)

сом астрономические и геодезические исследования вел 27-летний В. Струве — будущий русский академик, создатель Пулковской обсерватории. Среди учеников Гаусса были такие прославленные астрономы, как Бессель, Шумахер, Энке, Виннеке и др.

В период с 1830 по 1840 г. Гаусс занимался теоретической физикой. В 1833 г. им был сконструирован первый в Германии электромагнитный телеграф.

Свои работы по оптике он обобщил в труде «Диоптрические исследования» [75], который был издан в 1840 г. и стал фундаментом теории построения изображения в оптических системах.

К. Ф. Гаусс показал, что законы идеальных оптических систем являются предельным случаем при расчете и проектировании реальных систем, если уменьшить до нуля ширину области, окружающей оптическую ось («параксиальная область», отсюда очень распространенное название «гауссова оптика параксиальных лучей»). Более того, Гаусс показал, что законы отображения в параксиальной

области могут быть получены на основании одного только предположения о пропорциональности между бесконечно малыми углами падения (i) и преломления (i'). Каков бы ни был закон преломления $i' = f(i)$, если только производная df/di не равна нулю, все законы параксиальной области остаются в силе.

Гауссом впервые были введены понятия кардинальных точек центрированной оптической системы и была выведена основная формула идеальной оптической системы, получившая впоследствии его имя:

$$f'/a' + f/a = 1,$$

где a — расстояние от предмета до передней главной плоскости оптической системы, f — переднее фокусное расстояние, a' — расстояние от задней главной плоскости до изображения, f' — заднее фокусное расстояние. Эта формула позволяла установить связь между положением предмета на оптической оси, изображением предмета и фокусным расстоянием системы.

Идеальная оптическая система давала возможность рассчитывать конкретные оптические системы, состоящие из одной или нескольких линз, которые бы давали при помощи широких пучков лучей резкие изображения точек, достаточно удаленных от оптической оси. Расчет идеальной оптической системы начиналось проектирование любой сколь угодно сложной оптической системы. В результате этого расчета разработчик получал продольные габариты оптической системы: положения главных плоскостей линз, положения зрачков, люков, диафрагм на оптической оси системы. Кроме того, в результате расчета идеальной оптической системы разработчик имел возможность определить угловое и продольное увеличение системы, а также установить их связь с линейным увеличением. Теория идеальной оптической системы позволяла также чисто аналитическим путем решить вопрос «сложения» нескольких систем с общей оптической осью:

$$\varphi' = \varphi'_1 + h_2 \varphi'_2 + \dots + h_k \varphi'_k,$$

где $\varphi' = 1/f'$, h — высота падения луча, f' — фокусное расстояние.

Теория идеальной оптической системы К. Ф. Гаусса была практически использована в 1865 г. для расчета микроскопов. В работе Негели и Швенденера «Микроскоп» [76] мы уже встречаем описание точного хода лу-

чей. На примере сложного ахроматического объектива из трех пар линз авторы этой книги вычисляют положения кардинальных точек, исследуют влияние аберраций на качество изображения в микроскопе.

Гауссом были также предложены три способа определения фокусных расстояний оптических систем методом расчета «нулевого» луча. В своей работе «Диоптрические исследования» Гаусс в качестве примера приводит полный расчет погрешности определения фокусного расстояния оптической системы с $f' = 240$ см. При этом погрешность в определении фокусного расстояния составляет менее $0,08\%$.

Несмотря на то что «Диоптрические исследования» Гаусса содержат всего 32 страницы текста и никаких других исследований по оптике им написано не было, мы с полным правом можем считать Гаусса одним из основоположников прикладной оптики, который разработал совершенно новый раздел — теорию идеальной оптической системы, играющую важную роль при расчете оптических инструментов.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ АБЕРРАЦИЙ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТРУДАХ УЧЕНЫХ XIX В.

При всей своей универсальности и важности для расчета оптических приборов теория идеальной оптической системы не давала возможности оценить качество оптического изображения, а главное — не позволяла решить вопрос о влиянии конструктивных элементов оптической системы (диаметр входного зрачка, показатели преломления стекол линз, радиусы кривизны линз, фокусное расстояние и др.) на величину аберраций, даваемых оптическими системами. Необходимо было найти математические выражения связи конструктивных элементов оптической системы с ошибками, которые эта система давала. При наличии такого уравнения можно было бы аналитическим путем, варьируя конструктивные элементы оптической системы, получать допустимые величины аберраций. Иными словами, необходимо было получить уравнения вида

$$\delta g' = \Phi(D_{\text{вх. зр}}, n_i, r_1, r_2, \dots, r_n, f', \dots),$$

где $\delta g'$ — аберрации оптической системы, $D_{\text{вх. зр}}$ — диаметр входного зрачка системы, r_1, r_2, \dots, r_n — радиусы кривизны

визны линз, f' — фокусное расстояние системы, n_i — показатели преломления стекол линз.

Как мы уже видели, вопросы теории аберрации оптических систем разрабатывали для отдельных случаев уже И. Ньютон, Л. Эйлер, а затем Г. Эри и Х. Коддингтон (1830 г.).

В 1827 г. английский астроном Г. Эри занялся вычислением астигматизма оптических систем и кривизны изображения, даваемого этими системами. В результате проделанных расчетов Эри обнаружил, что для точки предмета, лежащей вне оптической оси, наиболее четкое изображение получается в том месте, где сечение астигматического пучка плоскостью, перпендикулярной к оси линзы, имеет вид круга. Согласно Эри, одну из наиболее благоприятных форм представляет мениск, обращенный выпуклой стороной к предмету, при этом диафрагма должна располагаться позади мениска. Другой пример выгодной формы линзы — плоско-выпуклая линза, обращенная плоской стороной к предмету с диафрагмой, поставленной впереди линзы.

Следует отметить, что исследования Эри долгое время оставались неизвестными широкому кругу оптиков. Теория аберраций для общего случая (так называемая теория аберраций третьего порядка) была впервые разработана лишь в 1856 г. немецким оптиком А. Зейделем.

При создании своей теории аберраций Зейдель рассуждал следующим образом. Величину аберраций от одной поверхности системы можно представить в виде совокупности отдельных ошибок изображения. Тогда результирующая аберрация всей оптической системы будет представлена двойной суммой, состоящей из суммы по всем поверхностям для одного рода ошибок, суммированной затем по всем видам ошибок изображения. Этот способ давал возможность хорошо проанализировать влияние аберраций тех или иных компонентов оптической системы на полную аберрационную характеристику всей системы, т. е. обеспечивал возможность проведения систематической коррекции оптической системы.

Аппарат для реализации этого метода был не нов. В 1795 г. Кюгель, по-видимому, первым применил тригонометрический расчет лучей в большом объеме. Полное аналитическое развитие теории ошибок изображения было дано впервые в 1828 г. Л. Шлейермахером, однако на практике работы Шлейермахера в то время применения

не получили в связи с крайне сложными и трудоемкими математическими выкладками.

В 1856 г. А. Зейдель создал элегантную теорию аберраций третьего порядка [77]. Им были получены следующие аналитические выражения для расчета аберраций третьего порядка:

$$\delta g' = \sum A_1 U_1^a W_1^b \Omega_1^c,$$

$$A_1 = \Phi(S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V).$$

Здесь коэффициент A_1 зависит только от конструктивных элементов оптической системы,

$$S_I = \sum_1^n A_v, \quad S_{II} = \sum_1^n A_v T_v, \quad S_{III} = \sum_1^n A_v T_v^2,$$

$$S_{IV} = \sum_1^n A_v T_v^2 - \varphi_v = \sum_1^n \Delta_v, \quad S_V = \sum_1^n \Delta_v T_v,$$

соответствуют коэффициентам сферической аберрации, комы, астигматизма, кривизны поля и дисторсии. Эти коэффициенты получили название сумм Зейделя.

Для устранения ошибок изображения пять сумм Зейделя должны быть сведены к мало отличающимся от нуля значениям. Для этого в системе, отдельные поверхности которой сами по себе несвободны от аберраций, положительные значения частных коэффициентов сумм Зейделя на отдельных поверхностях должны соответствовать отрицательным значениям коэффициентов на других поверхностях системы, так, чтобы частичные коэффициенты в сумме компенсировались. Однако такая компенсация при одинаковых абсолютных значениях частных коэффициентов осуществлялась только в пределах ошибок третьего порядка, вследствие же влияния членов высших порядков такая система будет обладать зональными ошибками. Эти зональные ошибки будут тем меньше, чем меньше по абсолютной величине поверхностные частные коэффициенты третьего порядка.

Анализируя значения сумм Зейделя для разных случаев, Й. Петцваль указал на связь, которая существует между меридиональным, сагиттальным и средним искривлениями и астигматизмом. Он пришел к важному для практики выводу: если исчезает астигматизм, т. е. если

$$(S_{III} - S_{IV})/2 = 0,$$

то меридиональное, сагиттальное и среднее искривления равновелики, а зейделевская сумма для этого случая будет:

$$S_{III} = S_{IV} = (S_{III} + S_{IV})/2 = \sum P_v.$$

Таким образом, $\sum P_v$ есть не только специфический частный коэффициент искривления изображения, но и зейделевская сумма для освобожденного от астигматизма искривления поля изображения. Петцваль показал, что для освобожденного от астигматизма изображения $\sum P_v$ есть непосредственно кривизна вершины поля изображения. (Величину $\sum P_v$ называют суммой Петцваля).

Несмотря на стройность выкладок, выполненных Зейделем, его аналитические разложения для aberrаций третьего порядка не сразу стали использовать в практике расчета оптических систем. Это объясняется тем, что не все понимали, что аналитические разложения Зейделя являются приближениями, позволяющими лишь оценить влияние aberrаций отдельных компонентов оптической системы на результирующую aberrацию всей системы. Поэтому те, кто ожидали путем решения группы уравнений Зейделя получить в каждом конкретном случае непосредственно конструктивные параметры для скорректированной системы, были весьма разочарованы. В своей книге «Основы практической оптики» М. Берек писал: «Нужно еще раз отметить, что значение зейделевской теории для практики нужно видеть не в том, что с ее помощью можно вычислять значения aberrаций. . . Значение теории в том, что она в частичных коэффициентах дает нам средство систематически изучать и изменять действия поверхностей оптической системы» [78, с. 57].

Таким образом, исследования Зейделя не могли полностью удовлетворить запросы практической разработки оптических систем. Поэтому появились попытки введения тех или иных поправок к формулам теории aberrаций третьего порядка.

Для того чтобы уменьшить влияние aberrаций высших порядков, М. Берек предложил анализировать, кроме окончательных значений aberrаций третьего порядка для всей системы, частичные коэффициенты тех же aberrаций для отдельных поверхностей системы.

Й. Петцваль первым дал разложение в ряд aberrаций пятого и даже седьмого порядка. Однако его работы остались неопубликованными.

Получению наиболее общей и полной картины всех aberrаций оптических систем способствовало открытие Петцвалем условия, необходимого для того, чтобы плоский элемент конечной площади, перпендикулярный оптической оси системы, отображался бы этой системой на одну плоскость. При уничтожении хроматических и сферических aberrаций, а также комы, астигматизма и дисторсии, но несоблюдении условия Петцваля изображение упомянутого выше элемента получается резким, но не плоским.

Для системы из бесконечно тонких линз, расположенных на любом расстоянии друг от друга, условие Петцваля имеет следующий вид

$$\sum \varphi_k/n_k = 0,$$

где φ_k — оптическая сила k -й линзы системы, n_k — показатель преломления этой линзы.

Для оптических систем, предназначенных для визуального наблюдения (зрительные трубы, бинокли и т. п.), выполнение условия Петцваля не являлось необходимым, так как аккомодация глаза позволяет ему с достаточной резкостью видеть все точки изображения плоского предмета. Однако для фотографических и проекционных объективов, дающих изображение на плоских пленках или экране, условие Петцваля должно быть соблюдено, т. е. эти оптические системы должны быть исправлены в отношении этого недостатка, названного «кривизной поля».

Были и другие ограничения возможности использования теории aberrаций третьего порядка. Так, например, эта теория давала возможность определить aberrации изображения точки при условии, что расстояние от точки до оси мало и что апертура пучка незначительна. В случае же большой апертуры влияние aberrаций высших порядков было велико и расхождение между величиной aberrации, полученной с помощью сумм Зейделя, и aberrацией, вычисленной тригонометрическим расчетом хода лучей через оптическую систему, было большим даже для случая, когда светящаяся точка была расположена близко у оси системы.

В 1873 г. Эрнст Аббе показал, что лучи, определяющие величину сферической aberrации любой оптической системы, вместе с тем определяют и кому для точек, лежащих в непосредственной близости к оси. Это обстоятельство вызвало большой интерес среди оптиков. Последнему спо-

собствовало и то, что обнаруженная закономерность была получена Аббе непосредственно из чисто энергетических соображений. Открытую закономерность Аббе назвал «условием синусов». При невыполнении условия синусов элементарный отрезок, перпендикулярный оптической оси, изображается лучами, проходящими центральную и краевые зоны системы с разным масштабом, вследствие чего изображения получаются нерезкими. При выполнении условия синусов оптические пути всех лучей одинаковы; лучи пересекают плоскость изображения на одной и той же высоте.

Закон синусов Аббе явился удобным, технически простым способом определения качества изображения предметов, лежащих весьма близко к оптической оси, без непосредственного расчета хода лучей.

Был, однако, еще другой путь оценки величины аберраций оптических систем. Этот путь связан с введением в оптику понятия «эйконала».

Эйконал (оптический путь между двумя точками пространства) был впервые введен В. Р. Гамильтоном в 1831 г. под названием характеристической функции оптической системы. Гамильтон обратил внимание на аналогию, существующую между механикой и оптикой, и использовал принцип Ферма в оптике.

Если с чисто практической точки зрения применение теории эйконала для расчета аберраций оптических систем не представляло каких-либо существенных преимуществ по сравнению с методами, основанными на непосредственном применении элементарных формул тригонометрического расчета хода лучей, то только эта теория позволяла получать сведения общего характера об аберрациях (например, данные о числе независимых коэффициентов аберраций разных порядков тех или иных оптических систем), а эти сведения были чрезвычайно ценны при расчете оптических систем. Разложение аберраций в ряд на основании теории эйконала (для аберраций третьего порядка) было выполнено в 1905 г. немецким ученым К. Шварцшильдом. В своем фундаментальном «Исследовании в области геометрической оптики» Шварцшильд, используя метод эйконалов, создал свою теорию аберраций оптических систем на более общей основе, чем это было сделано до него. Им были найдены не только аберрации третьего порядка, как это было сделано у Зейделя, но и рассмотрены аберрации пятого порядка с чис-

лом независимых коэффициентов, равным десяти (в отличие от Петцваля, у которого таких коэффициентов было 12).

Далее Шварцшильд пытается использовать свою теорию аберраций в практических целях, предлагая систему телескопа-рефлектора, состоящего из двух зеркал. Для нахождения параметров поверхностей зеркал он составляет и интегрирует дифференциальные уравнения. Система его зеркального телескопа работает как апланат без сферической аберрации и комы.

Шварцшильдом были предприняты исследования телескопов-рефракторов. Им был показан путь к систематическому усовершенствованию объективов таких телескопов. В 1908 г. лорд Рэлей писал: «Невероятно, чтобы исследования Шварцшильда можно было усовершенствовать, если говорить о выводе точных формул и их применении к определенной комбинации линз» [79, с. 139]. Прикладной оптике была посвящена и специальная работа Шварцшильда, опубликованная в «Геттингенских сообщениях» в 1907 г. Она называлась «О дифференциальных формулах для расчета оптических систем» и содержала хорошо разработанную методику расчета сложных оптических систем на основе теории аберраций.

Разработка общей теории аберраций оптических систем не являлась самоцелью, она была вызвана практической необходимостью.

Середина XIX в. ознаменовалась бурным развитием фотографической оптики. На повестке дня стояла задача расчета фотографических объективов с высокой светосилой и большой разрешающей способностью. Для того чтобы фотографические объективы давали изображения высокого качества, к ним предъявлялись повышенные требования в отношении аберрационной коррекции. До этого времени (до середины XIX в.) объективы фотоаппаратов строились в основном из комбинаций двух линз. Аберрации таких объективов удавалось исправлять эмпирическим путем, последовательно изменяя радиусы кривизны линз и подбирая показатели преломления стекол, из которых эти линзы были изготовлены. Двухлинзовые объективы имели значительную сферическую аберрацию. Хроматические аберрации в этих объективах удавалось исправлять подбором соответствующих сортов стекол.

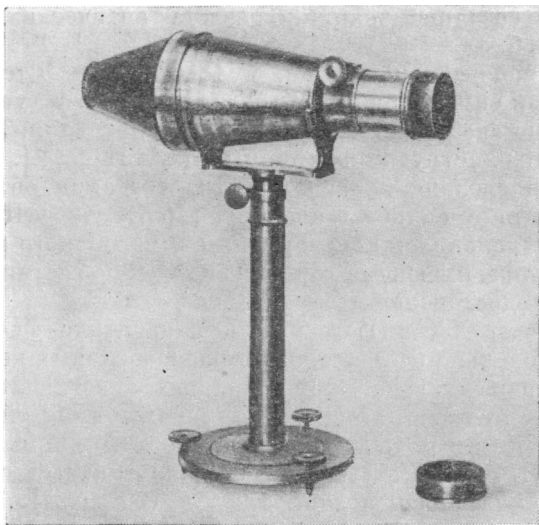


Рис. 27. Фотографическая камера Фойглендера с портретным объективом Й. Петцваля (40-е годы XIX в.)

Вследствие резкого повышения требований к качеству изображения, даваемого фотообъективом, использование совокупности только двух линз оказалось недостаточным. Начали строить оптические системы из трех и более линз. Крупным событием в истории инструментальной оптики явилось создание в 1840 г. портретного объектива Й. Петцвалем, далеко опередившего оптическую технику своего времени (рис. 27). Объектив Петцваля имел большое относительное отверстие ($1 : 3,2$), у него впервые было достигнуто одновременное исправление сферической аберрации, комы и астигматизма при удовлетворительной величине хроматических аберраций.

Объективы Петцваля получили широкое распространение и находились в эксплуатации более 100 лет. Методика, которой пользовался Петцваль, не сохранилась, однако известно, что он построил свой портретный объектив на основании аналитических расчетов аберраций. Работа по созданию этого объектива была осуществлена в чрезвычайно короткие сроки (1836—1840 гг.). При этом был решен целый комплекс задач технической оптики: оценка качества изображения, выбор типа оптической

системы, создание техники расчета оптических систем и др.

Уже значительно позже, в 1865 г., А. Штейнгелем был создан симметричный объектив-апланат, уступающий, однако, по своей светосиле объективу Петцваля.

В 1891 г. сотрудником фирмы «Карл Цейс» П. Рудольфом была сделана первая попытка создания объектива-анастигмата с большой апертурой (объектив «Протар»). В 1892 г. появилась конструкция симметричного анастигмата «Дагор», имеющего хорошую коррекцию астигматизма и малую дисторсию изображения.

К началу XX в. фотографическая оптика уже насчитывала довольно большое число разнообразных конструкций фотообъективов. Кроме двойных анастигматов, она пополнилась трехлинзовым анастигматом типа «триплет», разработанным в 1893 г. Тейлором для фирмы «Кук»; в 1900 г. Гёгом был создан широкоугольный объектив «Гипергон», с полем зрения 135° ; в 1902 г. П. Рудольф создал четырехлинзовый объектив «Тессар», получивший широкую известность во всем мире.

Успехи, достигнутые в создании столь разнообразных конструкций фотообъективов, были связаны прежде всего с развитием во второй половине XIX в. общей теории оптических систем (работы К. В. Гаусса, А. Зейделя, Й. Петцваля, Э. Аббе и др.).

В процессе изготовления все более совершенных объективов развилась и методика расчета оптических систем. Стремление дальнейшего повышения качества абберрационной коррекции фотографических объективов привело также и к развитию всей теории абберраций оптических систем.

АЛВАН КЛАРК

Алван Кларк по профессии был художником-портретистом. Шлифовкой линз и зеркал занимался как любитель. В 1851 г. он научился перешлифовывать старые линзы и, проверяя качество изготовления, часто направлял их на небо. Так он открыл ряд двойных звезд: 8 Секстанта, 96 Кита и др. Убедившись в высоком качестве полученных им линз, Кларк вместе с сыновьями Джорджем и Гремом организовал сначала небольшую мастерскую, а затем хорошо оборудованное предприятие, специализировавшееся на изготовлении и испытании объективов



АЛВАН КЛАРК
(1804—1887)

телескопов. Последнее осуществлялось в тоннеле длиной 70 м по искусственному источнику света. Так возникла крупнейшая в западном полушарии оптическая фирма «Алван Кларк и сыновья» [80].

Необходимо отметить, что дальнейшие успехи, достигнутые этой фирмой в деле изготовления больших рефракторов, были тесно связаны с работой другой фирмы — «Ченс и братья», специализирующейся на изготовлении высококачественного оптического стекла. От этой фирмы и фирмы «Парра—Мантуа» Кларк получал высококачественное оптическое стекло.

Летом 1859 г. В. Р. Дауес пригласил Кларка в Лондон и представил его ведущим английским астрономам, среди которых были лорд Росс и Дж. Гершель. Этот визит ввел Кларка в общество астрономов.

В 1862 г. фирмой Кларка был построен 18-дюймовый рефрактор, который был установлен на Дирбонской обсерватории (штат Миссисипи, США).

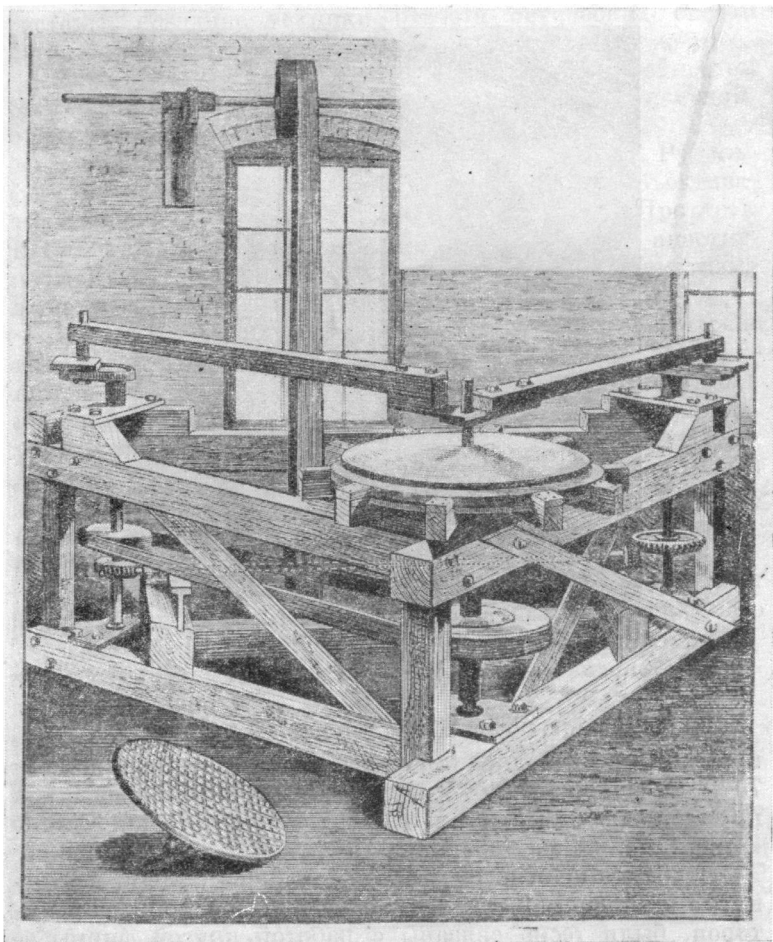


Рис. 28. Стеклошлифовальный станок А. Кларка (1887)

Фирма Кларка имела самое лучшее по тому времени оборудование для шлифовки линз. На рис. 28 показан принадлежащий фирме стеклошлифовальный станок.

В 1870 г. федеральное правительство США обратилось к известному американскому астроному Симону Ньюкомбу с просьбой заключить договор с фирмой Кларка о постройке телескопа для Военно-морской обсерватории

в Вашингтоне. Предполагаемая стоимость этого инструмента составляла 50 000 долларов. Этот инструмент должен был стать самым большим и лучшим рефрактором в мире.

После нескольких неудачных попыток фирмой Ченс были изготовлены 26-дюймовые стеклянные диски для этого телескопа. Они прибыли в Кембридж в 1871 г. Полтора года потребовалось для их полировки и шлифовки. Линзы имели толщину порядка двух дюймов и весили около 45 кг. Стоимость ахроматического объектива телескопа из этих линз составила около 6000 долларов.

В 1873 г. 26-дюймовый рефрактор Алвана Кларка был установлен в Вашингтонской обсерватории. С помощью него А. Холл открыл в 1877 г. два спутника Марса: Фобос и Деймов. Таким образом, увеличение диаметра объективов телескопов влекло за собой весьма ценные научные открытия.

В 1839 г. в России была открыта Пулковская обсерватория — одна из крупнейших астрономических обсерваторий мира [81]. Ее первый директор В. Я. Струве постоянно заботился о том, чтобы она была оснащена лучшими оптическими инструментами того времени. Обсерватория получила от фирмы «Г. Мерц и Ф. Малер» 15-дюймовый рефрактор ($D=38$ см, $F=7$ м), который на протяжении многих лет был крупнейшим рефрактором в мире. Размеры его были превзойдены лишь в 1863 г., когда в мастерской Кларков в Америке был построен рефрактор с диаметром объектива 470 мм.

Так как Пулковский 15-дюймовый рефрактор уже не мог претендовать на место крупнейшего, второй директор обсерватории О. В. Струве поставил 20 мая 1878 г. вопрос о поручении фирме Кларка построить 30-дюймовый рефрактор. При этом О. В. Струве ссылался на постановление правительства о том, что Пулковская обсерватория должна обладать лучшими в мире инструментами [82, с. 21]. В 1879 г. О. В. Струве получил на постройку нового телескопа предварительно 300 000 рублей и отправился в зарубежную командировку для обсуждения с выдающимися астрономами, механиками и оптиками вопроса о возможности постройки нового инструмента. В этом обсуждении приняли участие астрономы Эри, Ньюкомб и др., а также представители оптических фирм Мерца и Кларка. В результате было принято решение о постройке рефрактора с объективом в 30 дюймов. Большие размеры, по

общему мнению, влекли бы за собой неизбежную деформацию линз от их собственного веса. Изготовление такого объектива было поручено А. Кларку. Стекланные диски обязались поставить: из кронгласа — завод Ченса в Бирмингеме, а из флинтгласа — завод Фейля во Франции. При обработке на заводе Ченса кронгласовый диск дал трещину, и потому новый диск был отлит также на заводе Фейля. Но и здесь диск получился не совсем удачным — в одном месте оказалось скопление небольших пузырьков воздуха. Впоследствии выяснилось, что этот дефект мог внести искажения в наблюдения только самых ярких звезд, вызывая слабые дифракционные полосы, но не влиял ни на отчетливость изображения, ни на светосилу системы.

Шлифовку самых больших по тому времени линз Кларк производил в течение почти полутора лет. При шлифовке линз объектива Пулковского рефрактора выяснилась необходимость увеличения фокусного расстояния, которое было определено в 16—18 м. Это повлекло за собой переделку конструкции башни для телескопа. В окончательном варианте были изготовлены две линзы объектива диаметром 30 футов, расположенные в оправе на расстоянии 5 дюймов одна от другой. Обе линзы весили около 200 кг.

В начале 1883 г. работа над объективом была закончена. Он был подвергнут всем необходимым испытаниям и оказался превосходным. Для приемки объектива в Америку выехал О. В. Струве со своим сыном Германом, штатным астрономом Пулковской обсерватории. Они также провели испытания объектива, которые, по отзывам О. В. Струве, дали блестящие результаты. Двойные звезды, а также большое количество туманностей, совершенно незаметных в 15-дюймовый рефрактор, теперь были прекрасно видны.

28 июня 1883 г. гигантский объектив Кларка был доставлен в Пулково. К концу того же года из Гамбурга от И. Репсольда стали поступать заказанные ему части рефрактора, а также окуляр и микрометр. В августе 1884 г. в Пулково прибыл Репсольд с двумя опытными помощниками, которые в течение трех недель собрали установку (рис. 29). 14 октября 1884 г. все работы по постройке инструмента были закончены. К сентябрю 1884 г. была закончена постройка новой большой башни, спроектированной военным инженером Паукером. Внутреннее оборудование башни было готово к началу июня 1885 г., и, таким обра-

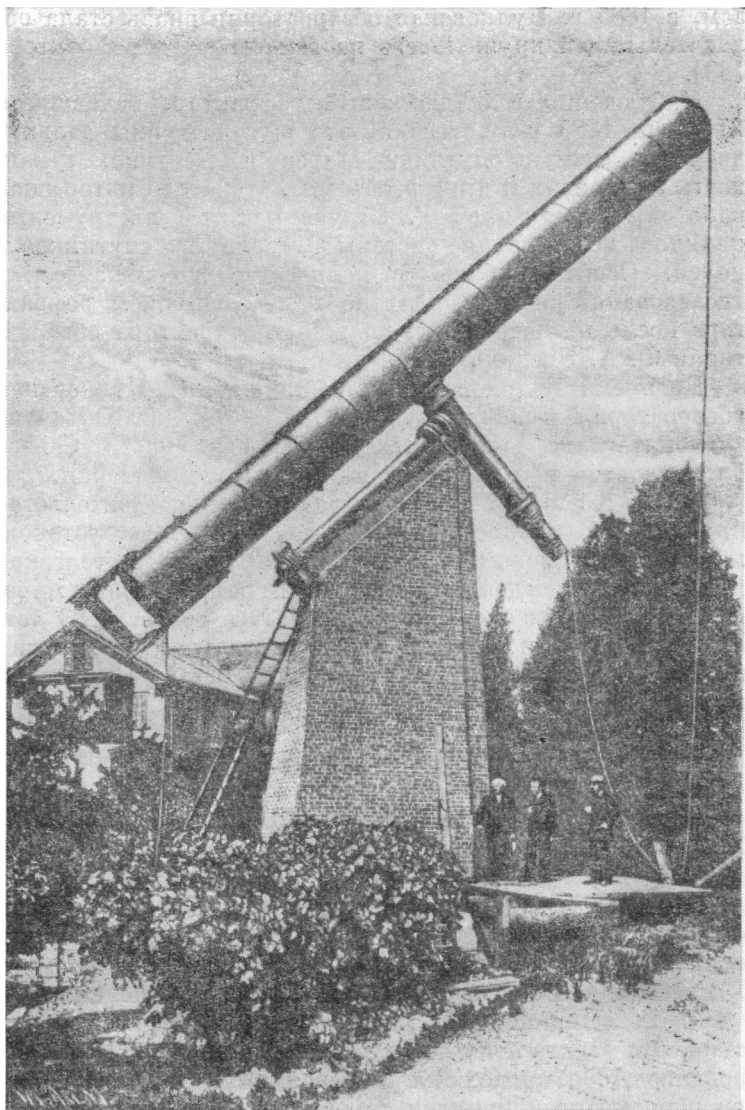


Рис. 29. Общий вид Пулковского рефрактора Алвана Кларка (1883)

зом, в 1885 г. Пулковская обсерватория вновь стала обладательницей крупнейшего на земном шаре рефрактора [83].

Наблюдения в 30-дюймовый рефрактор, начавшиеся 27 июня 1885 г., показали, что ему доступны дальние двойные звезды, спутники Марса и Нептуна, туманность в Плеядах и другие объекты. Наиболее интересной работой, выполненной Г. Струве на этом инструменте, являлось исследование системы Сатурна, его спутников и колец. Особенно большое количество астрофизических исследований было выполнено на 30-дюймовом рефракторе после назначения на должность директора обсерватории Ф. А. Бредихина.

Во время Великой Отечественной войны Пулковская обсерватория была разрушена до основания. Объектив знаменитого рефрактора Кларка удалось спасти. Сейчас он находится в музее, созданном при обсерватории.

В 1897 г. фирмой Кларка было закончено строительство крупнейшего в мире 40-дюймового рефрактора, установленного в Йеркской обсерватории (США). Этот телескоп является и по сей день самым большим рефрактором в мире.

Алван Кларк скончался в 1887 г. в возрасте 83 лет. Его имя вошло в историю инструментальной оптики как имя непревзойденного мастера крупнейших рефракторов мира.

ЭРНСТ АББЕ

Выдающийся немецкий оптик Эрнст Аббе родился 23 января 1840 г. в городе Эйзенахе (Германия) в рабочей семье. В школу Аббе пошел с шести лет, а затем поступил в реальную гимназию. Его любимыми предметами были физика и математика. Он с удовольствием изучал латинский язык, занимался изучением произведений К. Ф. Гаусса. Во всех классах гимназии Аббе — лучший ученик.

Темой его дипломной работы была геометрическая оптика. Эта работа получила наивысшую оценку. Свое образование Аббе продолжил в Йенском университете. Там он впервые познакомился с мастерской немецкого оптика Карла Цейса, в которой проводились некоторые практические занятия студентов и изготавливались отдельные оптические приборы и инструменты для университета.

В 1859 г. Аббе переезжает в Геттинген, где в 1861 г. заканчивает университет и защищает докторскую дис-



ЭРНСТ АББЕ
(1840—1905)

сертацию, получившую блестящую оценку В. Вебера. Осенью 1863 г. Аббе возвращается в Йену, где получает должность приват-доцента Йенского университета. В этом городе Аббе суждено было прожить большую часть жизни — 35 лет, этому городу имя Аббе принесло мировую славу. Во второй половине XIX в. ведущая роль в производстве оптических инструментов стала принадлежать фирме «Карл Цейс». Большой успех этой фирмы во многом был связан с деятельностью Э. Аббе.

На протяжении всей истории прикладной оптики параллельно с теорией аберраций оптических систем развивалась теория и практика построения оптического изображения. Со времени И. Кеплера и Р. Декарта существовало мнение, что при идеальном изготовлении оптических систем можно увидеть любые сколь угодно малые подробности объекта наблюдения или, говоря современным языком, что разрешающая сила идеального оптического прибора бесконечна. Качественно новым этапом в развитии теории оптических приборов стала теория Эрнста Аббе.

Он привлек данные физической оптики к объяснению теории оптического изображения и показал, что волновая природа света ставит предел разрешающей способности оптических систем в том смысле, что точке в пространстве предметов соответствует пятно ненулевого размера в пространстве изображений [84].

Привлечение физической оптики к объяснению некоторых вопросов теории оптических систем было вызвано практической необходимостью, и в первую очередь стремлением оптиков увеличить разрушающую способность микроскопов. Главное препятствие для дальнейшего повышения увеличения микроскопов оптики XIX в. видели в чисто технических трудностях, а именно в устранении сферической и хроматической аберраций. Вопрос о существовании какого-либо предела для увеличения при помощи микроскопа в специальной литературе того времени не поднимался.

В 1869 г. Листинг предложил новую конструкцию микроскопа, позволяющую, по его мнению, получить увеличение в 32 000 раз и более. В этой связи Г. Гельмгольц в 1874 г. в статье «Теоретическая граница способности микроскопа» поставил вопрос о возможности повышения увеличения микроскопа без существенного ущерба для получаемого изображения. Гельмгольц показал, что яркость изображения, даваемого оптическим инструментом, в самом лучшем случае может быть равна только яркости предмета, видимого невооруженным глазом. По этой причине в упомянутом выше микроскопе Листинга при громадном увеличении, предполагаемом получать с его помощью, яркость изображения будет настолько ничтожной, что глаз не сможет различить что-либо.

Гельмгольц установил также, что еще более вредное влияние на качество изображения в микроскопе оказывает дифракция, которая кладет предел полезному увеличению микроскопа.

Таким образом, согласно теории Гельмгольца, существуют два явления, устанавливающие предел разрешающей способности микроскопа: 1 — уменьшение яркости изображения с ростом увеличения; 2 — дифракция. По мере повышения увеличения неизбежно падает яркость изображения и растет дифракция, причем это ни в коей мере не зависит от конструкции микроскопа и является общим законом для всех оптических инструментов.

В 1866 г. Аббе стал научным сотрудником предприятия К. Цейса в Йене. С первых же дней работы перед ним была поставлена задача изготовления объективов на основании точных теоретических вычислений. В этой связи ему пришлось решать ряд вопросов, связанных со значением величины апертуры микроскопа и увеличением его разрешающей способности. Именно здесь теория тесно переплеталась с практикой.

После нескольких лет упорного труда из мастерской К. Цейса стали выходить объективы оптических инструментов, изготовленные исключительно на основании теоретических соображений и инженерных расчетов.

Летом 1873 г. Аббе обнародовал результаты своих исследований по улучшению конструкций микроскопов. Прежде всего Аббе показал, какие функции в образовании микроскопического изображения выполняют объектив и окуляр этого оптического инструмента. Далее он дал классификацию различных аберраций, искажающих изображение при наблюдении через микроскоп. Однако самой большой заслугой Аббе явилось установление им тех пределов, которые ставит перед конструкторами оптических систем волновая природа света.

К сожалению, Аббе не опубликовал большинство своих исследований, поэтому его работы по теории микроскопа дошли до нас в основном в изложении его учеников. Так, например, университетский курс «Теория оптических изображений в пределах геометрической оптики», который читал Аббе, был изложен его учеником С. Чапским в его «Теории оптических инструментов по Аббе». Работа Аббе «Теория дифракции в приложении к микроскопу» долгое время оставалась неопубликованной и только в начале XX в. появилась в пятитомном собрании сочинений Аббе.

Теория Аббе утверждала, что изображение в микроскопе получается двумя последовательными этапами: 1 — образованием дифракционной картины по методу Фраунгофера в фокальной плоскости; 2 — образованием из отклоненных пучков лучей оптического изображения в сопряженной плоскости.

Согласно Аббе, «оптическая способность» сложного микроскопа обуславливается тремя факторами: силой увеличения, геометрическим совершенством изображения и, наконец, величиной числовой апертуры объектива.

Сила увеличения определяется по законам геометрической оптики. Ее легко вычислить, зная фокусные расстояния объектива и окуляра, а также их взаимное расположение. Увеличение, по Аббе, служит для того, чтобы расширить, развернуть микроскопическое изображение на известный угол зрения, позволяющий глазу яснее различать детали. Для микроскопа необходима такая сила увеличения, которая позволила бы глазу различать с достаточной ясностью подробности объекта наблюдения, плохо или совсем неразличимые при меньшем увеличении. Такое увеличение Аббе называл полезным.

Геометрическое совершенство изображения Аббе усматривал в том, насколько лучи, выходящие из одной точки предмета, могут, пройдя через объектив, соединиться снова в одну точку. Было известно, что этому препятствуют различные аберрации, при наличии которых светящаяся точка дает в изображении не точку, а размытый кружок, окаймленный окрашенным контуром, так называемый кружок рассеяния. Геометрическое совершенство изображения зависит от конструкции объектива, от степени исправления в нем сферических и хроматических аберраций, от точного изготовления линз требуемой кривизны, их центрировки и т. д.

Аббе установил, что геометрическое совершенство изображения есть необходимое, но еще недостаточное условие для получения мелких подробностей в поле зрения микроскопа. Можно представить себе объектив, совершенно свободный от всех аберраций, однако он не будет давать вследствие этого безграничное число подробностей. Разрешающая способность оптической системы является функцией третьего фактора — числовой апертуры, учение о которой составляет основу теории Аббе.

До Аббе количество лучей, проникающих от одной точки предмета в микроскоп, определялось так называемым отверстием угла объектива (иначе говоря, его апертурой). Аббе доказал, что угол, образуемый крайними лучами, проникающими в объектив, сам по себе не может служить мерой количества лучей, приходящих в микроскоп. Оценивая их количество, необходимо, во-первых, принимать во внимание оптические свойства среды, лежащей между объектом наблюдения (предметом) и объективом, а во-вторых, брать не сам угол, а его синус. Произведение синуса половины апертуры на показатель пре-

ломления среды между предметом и объективом Аббе назвал «числовой апертурой» (A): $A = n \sin u/2$, где n — показатель преломления среды, лежащей между объектом наблюдения и объективом, u — апертурный угол.

К установлению этого важного понятия Аббе пришел посредством ряда рассуждений и опытов. Независимо от Гельмгольца им была выведена теорема, известная сейчас как «закон синусов Аббе». Последний давал возможность теоретически установить соотношение между следующими величинами:

$$n_1 \sin u_1 : n_2 \sin u_2 = y_2 : y_1,$$

где n_1 , n_2 — показатели преломления среды со стороны объекта и изображения; $V = y_2/y_1$ — увеличение оптической системы, которое должно оставаться постоянным для любой пары сопряженных лучей, исходящих из точки, лежащей на оси, и ограниченных апертурными углами u_1 и u_2 с осью оптической системы; y_1 и y_2 — элементы объекта и его изображения, перпендикулярные оптической оси.

Две точки, для которых устранена сферическая аберрация и соблюдено условие синусов, называются со времен Аббе апланатическими. Аббе установил, что на оси оптической системы возможна только одна пара апланатических точек.

Согласно теории Аббе, числовая апертура определяет ряд важнейших свойств микроскопа: яркость изображения, «проникающую» способность и «отображающую» способность, т. е. степень сходства изображения с предметом. Чем больше числовая апертура, тем более мелкие подробности в состоянии воспроизводить объектив. Фокусное расстояние и совершенство изображения имеют лишь второстепенное значение.

Эти положения с точки зрения геометрической оптики были совершенно необъяснимыми. Аббе понял, что причина кроется в явлении дифракции. Полное микроскопическое изображение получается при наложении друг на друга двух изображений, возникающих различными путями. При этом вторичное изображение является простым результатом интерференции лучей, выходящих из первичного изображения. Строгая математическая теория этого явления была разработана Аббе, и он читал ее в 1888 г. в качестве университетского курса [85].

Характеризуя роль творчества Аббе в развитии оптики, академик Д. С. Рождественский писал: «Аббе впервые ясно показал, что каждой остроте инструмента соответствует свой предел возможности. Нельзя грубыми пальцами обрабатывать даже мягкий материал с точностью до сотой миллиметра, для этого нужны тонкие инструменты. Тончайший же из всех инструментов — это длина волны. Нельзя видеть объекты меньше полудлины волны, утверждает дифракционная теория Аббе, и нельзя получить изображение меньше полудлины волны, т. е. меньше $1/4$ микрона. . . Таким образом, гением Аббе установлено сознательное творчество в микроскопии и достигнуты пределы возможного» [86, с. 331].

Из всего сказанного следует, что именно волновые свойства света определяют предел разрешения в оптических приборах. В дальнейшем (в 40-х годах XX в.) были предприняты попытки отказаться от фотонов и использовать для получения изображения в микроскопе более мелкие частицы — электроны, а затем и нейтроны. Использование для этой цели электронов привело к возникновению новых приборов — электронных микроскопов.

При рассмотрении этого же вопроса известный физик Рэлей исходил из предположения, что точки объекта посылают некогерентные волны (объект самосветящийся) и возникающие дифракционные картины просто накладываются одна на другую. Однако обычно в микроскоп рассматривают объекты освещенные, а не самосветящиеся. Последнее означает, что отдельные точки объекта рассеивают падающие на них волны, исходящие из одной и той же точки источника, и, следовательно, свет, идущий из разных точек объекта, оказывается когерентным. К этому случаю, гораздо более распространенному, формула Рэля неприменима.

Аббе указал весьма интересный прием для определения разрешающей силы в случае несамосветящихся объектов и нашел, что и в этом случае разрешающая сила также определяется числовой апертурой объектива. Условие разрешения, согласно теории Аббе, можно записать в следующем виде:

$$d \geq 0,5\lambda_0/A,$$

где λ_0 — длина волны в вакууме, A — числовая апертура объектива, d — разрешающая способность микроскопа.

Из формулы видно, что для повышения разрешающей способности микроскопа следует применять более короткие световые волны. Разрешающая способность микроскопа, кроме того, возрастает с увеличением числовой апертуры (A), которая зависит от показателя преломления материала линз ($A = n \sin u$). Последнее привело к появлению и развитию во второй половине XIX в. иммерсионных систем, в которых пространство между предметом и объективом заполнено прозрачной средой с показателем преломления $n=1,3\div 1,7$.

Иммерсионные системы были созданы в 60-х годах XIX в. немецкими оптиками Гартнаком и Мерцем. Следуя идее итальянского оптика Амичи, они помещали между объективом и покровным стеклом микроскопа жидкость (воду, глицерин, маковое масло). Известный микроскопист середины XIX в. Гартинг вспоминает: «Гартнак в этой системе последовал примеру, данному Амичи в 1850 г., и поместил между покровным стеклом и свободной поверхностью нижней линзы тонкий слой воды. . . Так как вода сильнее преломляет, чем воздух, то благодаря этому значительно ослабляется или даже совсем отпадает отражение света с поверхности объектива. Поэтому в микроскоп попадает большее количество лучей, и, таким образом, тонкий слой воды производит то же самое действие, что и увеличение апертуры микроскопа. Это благоприятное действие, сказывается преимущественно на краевых лучах, падающих наиболее косо. . . поэтому указанный слой должен повышать разрешающую способность микроскопа» [87, с. 82]. Применяя иммерсионные системы, удалось достичь увеличения разрешающей способности микроскопа в полтора раза.

В конце 70-х годов XIX в. по инициативе Аббе при заводе К. Цейса был создан научный оптический институт, руководителем которого стал сам Аббе. В результате организации такого института производство оптических приборов на предприятиях Цейсса получило подлинно научную основу. В 1884 г. при непосредственном участии Аббе в Йене открылся завод оптического стекла О. Шотта. Широкий ассортимент выпускавшегося на этом заводе оптического стекла с различными показателями относительной дисперсии позволил создавать высококачественные ахроматические объективы телескопов, зрительных труб и микроскопов. Завод Шотта впоследствии объединился с предприятием Цейса. В резуль-

тате этого в Германии возник первый в мире большой научно-технический комплекс оптического профиля.

Применение новых сортов оптического стекла позволило Аббе на основании теоретических расчетов создать в 1886 г. новые объективы — апохроматы. В этих объективах коррекция сферической и хроматической аберраций была доведена до предела совершенства.

Идея единства теории и практики при конструировании оптических систем проходит красной нитью через всю творческую деятельность Аббе. Слова Аббе «нет практики без теории» были путеводной звездой в его работе. Именно теоретические рассуждения привели Аббе к мысли о необходимости введения в оптическую систему различных приборов (зрительных труб, микроскопов, фотообъективов и т. п.) специальных приспособлений — диафрагм, применяемых для ограничения пучка световых лучей.

Аббе рассуждал следующим образом: для образования изображения в оптической системе нужны только те лучи, которые без задержки проходят через прибор до даваемого ими изображения. Те же лучи, которые задерживаются, например, оправами линз, не только бесполезны, но и вредны, так как увеличивают светорассеяние и снижают контраст изображения.

Аббе понял, чтобы правильно рассчитать, построить и эксплуатировать оптический прибор, необходимо обеспечить в нем правильное ограничение пучка лучей.

Развитие Аббе методов ограничения пучков лучей в оптических системах было новым шагом на пути конструирования все более и более совершенных оптических инструментов. Разработчик оптических приборов теперь мог теоретически рассчитать не только продольные габаритные размеры (вдоль оптической оси) будущего инструмента, но и получал возможность, пользуясь методикой Аббе, заранее рассчитать поперечные размеры и наиболее оптимальным образом выбрать диаметры линз и другие оптические компоненты.

В 1872 г. Аббе занялся созданием осветительных устройств для микроскопов. Им было создано устройство (рис. 30), состоящее из трех основных частей: системы линз, диафрагмы и зеркала. В своих осветительных аппаратах Аббе применял двойное отражательное зеркало, имеющее с одной стороны плоскую, а с другой — вогнутую поверхность. Зеркало могло свободно вращаться.

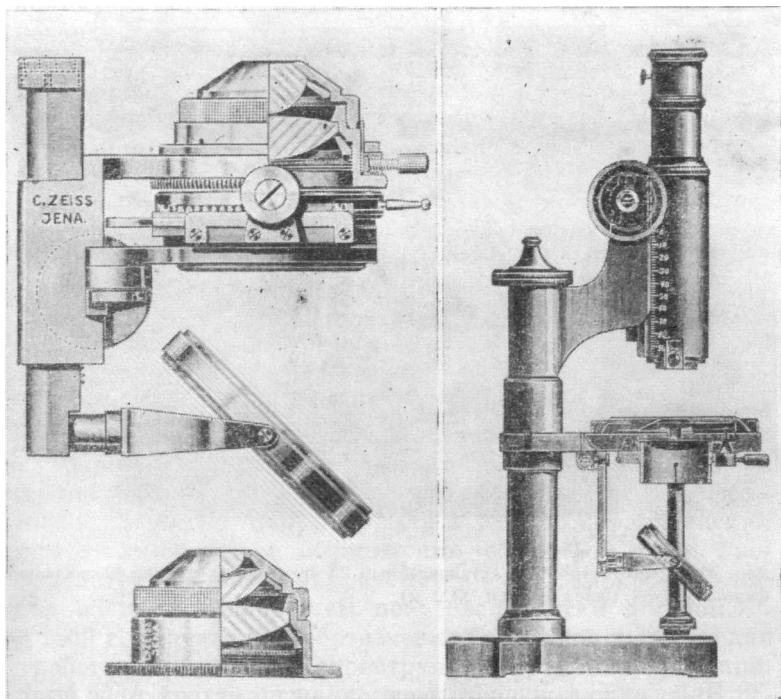


Рис. 30. Осветительная система микроскопа конструкции Э. Аббе (конец XIX в.)

Рис. 31. Общий вид фокометра Аббе, изготовленного фирмой «Карл Цейс» в Йене (1893)

Существует еще один аспект научно-практической деятельности Аббе. Речь идет о создании во второй половине XIX в. приборов для измерения основных характеристик оптических систем — фокусного расстояния угла поля зрения и увеличения.

Для измерения фокусных расстояний в конце XIX в. применялся фокометр Аббе (рис. 31), предложенный им в 1891 г. Первое свое сообщение об этом приборе Аббе сделал 22 сентября 1891 г. на 64-м заседании Общества естествоиспытателей в Халле. Подробное описание фокометра Аббе было опубликовано в 1893 г. в каталоге «Оптические измерительные инструменты» завода Карла Цейса в Йене [88].

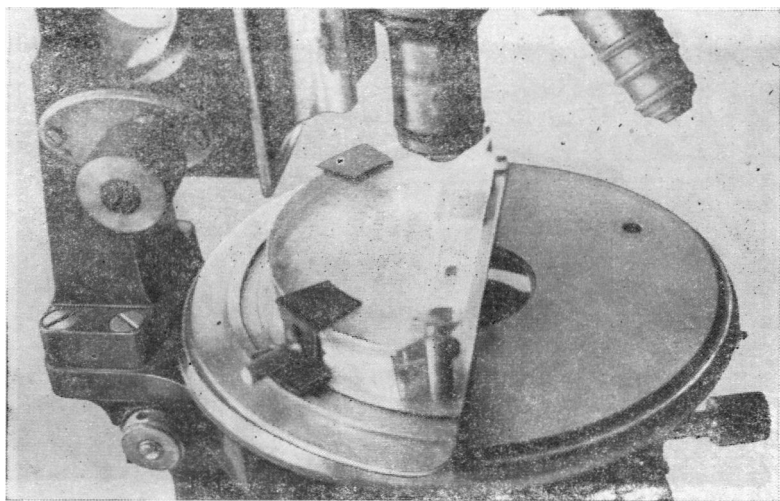


Рис. 32. Апертометр Аббе, установленный на предметном столике микроскопа фирмы «Карл Цейс» (конец XIX в.)

Измерение фокусного расстояния по методу Аббе было основано на определении увеличения для нескольких (не менее чем для двух) различных положений предмета, находящегося на оптической оси испытуемой оптической системы. Общий вид фокусометра Аббе, изготовленного на оптическом заводе Цейса в 1893 г., приведен на рис. 31.

Другой важной характеристикой оптической системы является ее увеличение. Для измерения увеличения микроскопа в конце XIX в. применяли рисовальный прибор Аббе, который устанавливали на микроскопе. При этом увеличение микроскопа определяли путем сравнения двух масштабов — объекта микрометра с ценой деления шкалы 0,01 мм и масштабной линейки. Два экземпляра рисовального прибора Аббе находятся в настоящее время в экспозиции Политехнического музея в Москве.

Для определения числовой апертуры объектива микроскопа в конце XIX в. применяли апертометр Аббе (рис. 32), состоящий из полукруглой стеклянной пластинки с нанесенными на ней двумя шкалами и подвижными рамками. Прямая боковая сторона пластинки срезана под углом 45° к образующей цилиндра и служит плоским зер-

калом, в котором отражается боковая цилиндрическая поверхность и срезы на подвижных рамках.

Апертометр Аббе устанавливался на предметном столике микроскопа (рис. 32), который фокусировался на малое отверстие, прорезанное в посеребренном кружке на верхней стороне апертометра. Ось микроскопа должна при этом проходить через центр упомянутого отверстия. Последнее будет иметь место, если при установке нити подвижной рамки на нулевое деление шкалы апертометра изображение креста, наблюдаемое глазом со стороны тубуса микроскопа, будет расположено точно по центру отверстия объектива. Необходимо отметить, что апертометр Аббе и по сей день успешно применяется в практике оптических измерений.

Во второй половине XIX в. в связи с расширением ассортимента оптических стекол возникла необходимость в точном измерении показателя преломления. До нас дошло немного сведений о конструкции первого рефрактометра. Известно, например, что в 1872 г. перед Йенским естественнонаучным медицинским обществом Аббе продемонстрировал свой рефрактометр [89]. Сам Аббе так писал об этом приборе: «Я пользовался этим методом... с 1869 г. вначале для обозначения бальзамов и смол и для удобства применения сконструировал специальные приборы — рефрактометры, которые дали возможность определять показатель преломления и, если необходимо, дисперсию любого жидкого или полужидкого вещества с помощью простейших манипуляций. При этом достаточно одной-единственной капли соответствующей жидкости, которая с увеличением толщины слоя может быть совершенно непрозрачной. Все наблюдение сводится к одной не требующей искусства установке и последующему отсчету по лимбу или шкале микрометра, который непосредственно дает значение искомого показателя преломления, т. е. без всяких расчетов. Ниже я даю подробное описание этого рефрактометра в виде трех разновидностей, предназначенных для разных целей... В заключение следует заметить, что все описанные в этой статье приборы были неоднократно изготовлены в оптической мастерской К. Цейса в Йене и большинство из них уже в течение нескольких лет опробованы в работе как мною, так и другими» [90, с. 79].

Как же выглядели первые рефрактометры Аббе? По описанию 1874 г., составленному самим Аббе, они имели

все признаки, присущие современному рефрактометру для измерения предельного угла: измерительную призму (двойную призму) для контакта с пробой, трубу для наблюдения линий раздела, угломерное устройство и иногда компенсатор для устранения цветного ореола линии раздела.

Используя обратный ход лучей, Аббе впоследствии упростил конструкцию прибора. Он сделал диффузное освещение от протяженного источника, а коллиматор, снабдив окуляром, превратил в наблюдательную трубу. При такой схеме еще лучше стал виден переход от светлого поля к темному. В качестве компенсатора Аббе использовал призму Амичи, установленную перед объективом трубы. Лимб рефрактометра был градуирован не в угловых величинах, а в значениях показателя преломления.

Аббе сразу же оценил большое практическое значение своего рефрактометра. «Что касается возможностей применения для технических целей, — писал он, — то здесь следует назвать по меньшей мере две: во-первых, множество имеющихся в продаже жидких и полужидких веществ можно очень надежно разделить и проверить их чистоту по их показателям преломления; во-вторых, во многих случаях показатель преломления с большой точностью позволит определить состав смеси двух жидкостей, а также состав и концентрацию растворов» [90, с. 78]. Аббе, в частности, указывает на измерение концентрации раствора сахара и сообщает, что его прибор уже снабжен дополнительной шкалой процентного содержания сахара и что благодаря этому «содержание сахара в растворе можно надежно определить одним взглядом по одной капле жидкости с точностью около 0,2%» [90, с. 78]. Для самого Аббе рефрактометр был прежде всего средством контроля оптических стекол и иммерсионных жидкостей. Четыре рефрактометра Аббе хранятся в Политехническом музее в Москве.

Кроме описанных выше оптических измерительных приборов, Аббе разработал конструкции контактного микрометра и сферометра. Эти приборы предназначались для точного измерения длин различных предметов и радиусов кривизны линз.

В конце XIX в. мастерские Цейса стали выпускать, кроме микроскопов, все виды оптических приборов, в том числе многие выполненные по чертежам и расчетам Аббе.

ПАУЛЬ РУДОЛЬФ

Выдающийся оптотехник своего времени Пауль Рудольф родился 14 ноября 1858 г. в городе Кала, недалеко от Йены. Получив прекрасное образование в Мюнхенском, Лейпцигском и Йенском университетах, П. Рудольф занимался вначале математикой и физикой, а затем прикладной оптикой.

В начале 1886 г. Рудольф познакомился с Э. Аббе, который предложил ему заняться расчетом апохроматических объективов микроскопов и объективов биноклей, также выпускавшихся фирмой «Карл Цейс».

Вскоре по инициативе П. Рудольфа фирма Цейса стала изготавливать и фотообъективы. В 1888 г. Э. Аббе предложил оптическую схему нового фотографического объектива — триплета, состоящего из пяти линз. Этот объектив обладал рядом преимуществ по сравнению с существующими ранее: в нем была уничтожена сферическая и хроматическая аберрации, а также устранен астигматизм изображения.

П. Рудольф выполнил вычисления для этого объектива по формулам, выведенным Аббе. Соответствующий подбор сортов оптических стекол позволил П. Рудольфу уничтожить в этом объективе весьма существенную погрешность — хроматическую разность сферической аберрации. Такой объектив получил название апохромата.

В 1888—1889 гг. Рудольф занялся расчетом нового объектива — анастигмата. При этом ставилась следующая цель: уничтожить в этом объективе сферическую аберрацию, астигматизм, кривизну поля, а затем и хроматическую аберрацию. Эта задача была успешно решена в 1890 г. При этом П. Рудольф применил новый способ вычислений, получивший впоследствии его имя.

На основании проведенных тригонометрических расчетов хода лучей через оптическую систему фотообъектива Рудольф пришел к следующим важным положениям: «Если в объективе-апланате расстояние между линзами выбрано так, чтобы изображение было возможно плоским, то астигматическая разность равна нулю только в точке пересечения изображения с осью системы; с увеличением угла наклона главных лучей к оси оптической системы астигматическая разность увеличивается. С уменьшением расстояния между половинами апланата астигматичес-

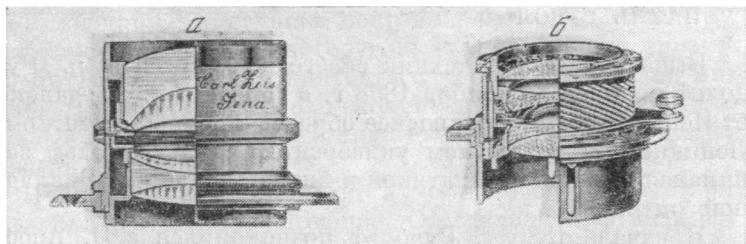


Рис. 33. Анастигматы П. Рудольфа
 а — протар; б — тессар

кая разность уменьшается, но изображение перестает быть плоским» [91, с. 141].

Согласно вычислениям П. Рудольфа, объектив-анастигмат должен состоять из двух систем: 1) склеенной системы, в которой показатель преломления стекла (крона) меньше показателя преломления флинта (это условие необходимо для уничтожения сферической аберрации); 2) склеенной системы, в которой показатель преломления кроны больше показателя преломления флинта (такое сочетание необходимо для получения анастигматического плоского изображения).

Первый построенный по расчетам П. Рудольфа анастигмат получил название «Протар» (рис. 33, а). В 1897 г. П. Рудольф создал светосильный анастигмат «Планар» с относительным отверстием 1 : 3,6. Схема этого объектива была положена в основу многих современных объективов. Одновременно была решена и задача просветления фотографической оптики, что позволило устранить потери на отражение от восьми поверхностей линз, составляющих оптическую систему этого объектива.

В 1902 г. Рудольф рассчитал четырехлинзовый анастигмат «Тессар» (рис. 33, б) с относительным отверстием 1 : 6,3. Этот объектив, обладая прекрасной аберрационной коррекцией, снискал автору мировую известность [92]. Вскоре практически все фотокамеры высокого класса были оснащены объективами Рудольфа типа «Тессар». Этот объектив широко употребляется и в наши дни (особенно в любительских камерах малого формата).

В конце XIX в. получила интенсивное развитие репродукционная техника. Специально для этих целей П. Ру-

дольф рассчитал репродукционные объективы «Апо-Планар» и «Апо-Тессар», в которых особенное внимание было обращено на исправление хроматической аберрации.

После смерти Аббе П. Рудольф отошел от активной деятельности и вернулся к ней лишь после первой мировой войны. Последнее его детище — серия объективов «Плазматов». Эти объективы были доведены до такой степени совершенства, что их возможности даже не удавалось реализовать в полной мере; они значительно опережали свое время.

К выдающимся достижениям П. Рудольфа следует также отнести объективы-анаморфоты, построенные им в 1897 г. и применяемые сегодня для широкоэкранный проекции фильмов.

Рудольф скончался в возрасте 76 лет. Он прожил славную жизнь, создав целую серию непревзойденных по своим качествам фотографических объективов.

Глава 2

ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ XVII—XVIII вв В МУЗЕЯХ СССР

В музеях СССР в настоящее время хранится довольно большое количество оптических приборов и инструментов, изготовленных в разное время, в различных странах мира крупнейшими мастерами оптического приборостроения. Наиболее богатым собранием микроскопов обладает Институт истории естествознания и техники АН СССР. В настоящее время эта коллекция микроскопов, начало которой было положено С. Л. Соболев, экспонируется в отделе физики Политехнического музея в Москве. Ценными и редкими экземплярами зрительных труб и телескопов обладает Музей М. В. Ломоносова в Ленинграде. Отдельные редкие экземпляры оптических инструментов находятся в Государственном Историческом музее, в Оружейной палате Московского Кремля, в Астрономической обсерватории Тартуского университета, в Государственном Эрмитаже, Военно-историческом музее в Ленинграде, в Музее старинных астрономических инструментов при Главной астрономической обсерватории АН СССР в Пулково, других музеях страны.

В данной книге автор не ставил перед собой задачу полного и подробного описания всех наиболее важных оптических приборов и инструментов, имеющих историческое значение и хранящихся в музеях СССР. Частично такая задача выполнена [1—3]. Здесь же автор делает попытку показать процесс развития наиболее важных оптических приборов и инструментов XVII—XVIII вв. с помощью сохранившихся в музеях СССР экспонатов, которые знаменуют собой узловые моменты в истории прикладной оптики и оптического приборостроения.

В книге выделено три класса оптических инструментов: 1 — очки, 2 — зрительные трубы и телескопы, 3 — микроскопы. Именно они получили в XVII—XVIII вв. наибольшее распространение. Каждый класс упомянутых

выше оптических инструментов рассматривается здесь с учетом конкретных исторических условий развития и с анализом тех причин, которые оказали стимулирующее действие на этот процесс.

ОЧКИ

Изобретение очков до сих пор «белое пятно» в истории оптики. Кто является истинным изобретателем очков, остается неизвестным, а между тем появление очков Ф. Энгельс назвал в числе важнейших изобретений XIII в. [4, с. 507].

Хроника, имеющаяся в библиотеке монахов-проповедников в Пизе, повествует, что очки начал впервые делать «некто, не желавший открыть своей тайны». Известно также, что монах Александр де Спина, услышав об этом изобретении, стал изготовлять очки самостоятельно и охотно обучал желающих этому мастерству. Кроме того, во Флоренции в церкви «Санта Мария Моджоре» на одном из могильных камней имеется надпись, из которой следует, что изобретателем очков (*inventore degli occhiali*) является Сальвино Арматти, умерший в 1317 г. Само же изобретение очков, согласно словарю итальянской академии Делла Круска, произошло в 1285 г.

В библиотеках Флоренции хранятся три списка проповеди монаха монастыря св. Катарины Джордано ди Ривальто, которая была произнесена в 1305 г. В ней говорится: «Не прошло еще и двадцати лет с тех пор, как было изобретено искусство изготовления очков» [5, с. 38]. Таким образом, по словам Ривальто, очки были изобретены около 1285 г. Эту дату и принято считать временем изобретения очков.

«Действительным бесспорным достижением XIII в., — писал С. И. Вавилов, — явилось изобретение очков в Италии и постепенное распространение их. О появлении очков в Италии в конце XIII в. сохранилось несколько вполне ясных свидетельств. Обилие документальных данных показывает, что изобретение привилось и обратило на себя внимание. Замечательно и вместе с тем печально, что ученые-оптики XIII в., много писавшие о преломляющих средах, по-видимому, не причастны к изобретению очков», [6, с. 242]. Такого же мнения придерживается и известный историк оптики В. Ронки [7].



Рис. 34. Изображение очков на картине XV в. (Италия)

К XIV в. масштабы производства очков достигли уже значительных размеров. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что в 1301 г. венецианский Государственный совет издал приказ, запрещающий изготовление очков из низкосортного стекла.

Первые очки были предназначены для исправления старческой дальнозоркости и были выполнены в виде длиннофокусных выпуклых линз. Одно из древнейших изображений очков, относящееся к XV в., приведено на рис. 34. Время появления очков с вогнутыми линзами для исправления близорукости точно не известно.

В XVI в. были распространены в основном длиннофокусные линзы. Так, в сочинении 1538 г. Г. Фракасторо

«Гомоцентрика» [8] мы находим описание устройства зрительной трубы, состоящей из очковых длиннофокусных линз: «Если бы кто-нибудь посмотрел через два очковых стекла, расположенные друг за другом, то он увидел бы все сильно увеличенным и приближенным». Далее он продолжает: «Почему бы не изготовить очковые стекла столь толстые, чтобы, глядя сквозь них на Луну или какое-либо другое светило, можно было увидеть их настолько близко, что они будут казаться находящимися над самыми башнями». Только в конце XVI в. начинают входить в употребление относительно короткофокусные линзы, используемые также в качестве увеличительных стекол.

С. И. Вавилов писал: «Безымянность изобретения (очков), к сожалению, определила и забвение самого факта изобретения. Многим ли, за исключением оптиков и врачей-окулистов, известна эпоха создания очков и их значение в истории оптики? История логической схемы вместо живого процесса, точно так же, как история ученых вместо истории науки, попадает в трудное положение при вопросе об изобретении очков. . .» [6, с. 242].

Точное время появления очков на Руси неизвестно. «Можно не сомневаться, — пишет С. Л. Соболев, — что и в XVI в. очки уже были известны в России, однако наиболее древний известный нам документ, упоминающий об очках, относится лишь к 1636 г.» [9, с. 142]. Упомянутый документ представляет собой запись в «Приходной книге товарам, взятым. . . в Государеву Мастерскую палату»: «145 года (т. е. 1636 г. — *В. Г.*) ноября 28, принес из хором стольник князь Никита Иванович Адоевской двои очки во влагалицах (т. е. в футлярах. — *В. Г.*) в серебряных; на одном влагалице подписано «очки князя Олексея Васильевича Приемкова Ростовского», да на стороне около клейма два льва, а на другой стороне инок (единорог. — *В. Г.*) со змием деретца; у других очков у влагалица по сторонам резаны в травах птицы. И 145 ж г. декабря в 1 день одними очками государь (Михаил Федорович. — *В. Г.*) пожаловал духовника своего протопопа Никиту, а другие очки взял государь себе в хоромы; приказал записать Иван Михайлович Аничков» [10, с. 261].

Из приведенного выше документа следует, что одни из упомянутых очков принадлежали князю А. В. Приемкову-Ростовскому, который умер 18 апреля 1631 г. Отсюда следует, что эти очки были приобретены им по

крайней мере на протяжении первого тридцатилетия XVII в. Именно эта дата появления очков на Руси является единственной документально подтвержденной [9, с. 142].

В середине XVII в. очки в России уже не редкость. Их главные обладатели — представители высшего духовенства и цари. Патриарх московский и всея Руси Филарет, в миру Федор Никитич Романов, имел в 20-х—начале 30-х годов XVII в. «двои очки». Данные об этих очках сохранились в «Описи казны Мастерской палаты» от 7150 (1641—1642 гг.), лист 472 [10, с. 198]. Патриарх Никон (1605—1681 гг.) имел целую коллекцию очков. Подробный перечень этих очков приведен в «Переписной книге домово́й казны патриарха Никона» [11], составленной, видимо, после его ссылки в Ферапонтов монастырь на Белом озере в 1666 г.

До нашего времени сохранился портрет Никона, выполненный Даниелем Вухтером. На картине изображен Никон, собирающийся читать лежащую перед ним книгу, и поддьяк Серафим, подающий Никону очки. Академик И. Э. Грабарь датирует эту картину 1660-м годом [12].

Во второй половине XVII в. очки в России получают уже широкое распространение. Об этом свидетельствуют цифры (5392 пары очков), приведенные в «Росписи немецких товаров, которые были привезены морем в 1671 г. в Архангельск» [13].

В конце XVII в. очки имелись в Москве уже в избытке, так что московские купцы начали вывозить их на продажу в Сибирь и даже в Китай. Известно, например, что «московский гость» Никитин вывозил в Сибирь и Китай очки, изготовленные из «белого» высококачественного стекла (хрусталя).

В XVII в. в Москве начинают появляться мастера, умеющие чинить очки и подбирать к ним стекла. Об этом свидетельствует дошедшее до нас письмо стольника Андрея Безобразова (1689 г.): «Да послал я с казначеем со Иосифом четвера стеклы: к однем стеклам оботки сделать, а к троем стеклам стекла прибрать; а стекла вели прибрать, чтоб чисты и белы были, слова в слова таковы же (как разбитые. — *В. Г.*), а как станут стекла прибирать, и ты вели на платочик прикладывать, так не обманет; а стекла послал двои большия да двои меньшия» [14, с. 81—82].

Об очках XVII в. можно получить достаточно полное представление по великолепным экземплярам очков этого

периода, хранящихся в Государственной Оружейной палате в Москве. Пять пар очков из этой коллекции ранее находились в московской Патриаршей ризнице и часто именуются «Патриаршими» или «Никоновскими» очками. В 1920 г. они были переданы в Оружейную палату. В настоящее время экспонируется четыре пары очков. Пятая пара (№ 10354) описана в инвентарной книге Оружейной палаты. Сделанная там запись гласит: «Так называемые очки патриарха Адриана, состоящие из двух зеленых стекол в костяной оправе с двойным переносом. Одно из стекол имеет сквозную трещину, переносье сломано, и часть его утрачена. Работа XVII столетия (русская). Из Патриаршей ризницы» [15, с. 115—116].



Рис. 35. Русские очки первой трети XVII в. из коллекции Государственной Оружейной палаты в Москве

Одной из первых работ, в которой имелись некоторые сведения об очках Патриаршей ризницы, была краткая статья доктора И. Талько [16]. Детальное описание этой коллекции очков было сделано в конце 40-х годов XX в. известным историком науки С. Л. Соболев [15].

Из пяти пар очков коллекции Государственной Оружейной палаты наиболее древними являются очки № 15308 (рис. 35). «Рисунок на их футляре, — отмечает С. Л. Соболев, — поразительным образом совпадает с рисунком на футляре одной из тех двух пар очков, которые были доставлены Михаилу Федоровичу в 1636 г. стольником Н. И. Адоевским: на обеих крышках этого футляра «резаны в травах птицы», как сказано и в приведенном выше описании. С другой стороны, по своей роговой оправе и устройству серебряного складного переносья очки эти очень похожи на древние очки, изображенные в немецком рукописном трактате 1600 г. об искусстве изготовления очков, хранящемся в Нюрнбергском музее. Можно считать

поэтому, что эти точки относятся к самому началу XVII, если не концу XVI в.» [9, с. 145].

Очки № 15306 и 15305 относятся, судя по их устройству, к середине XVII в., но очки № 15306 имеют складное переносье и по своему типу относятся к более древним очкам. Очки № 15305 имеют цельное переносье, так же как и очки № 15304. Последние относятся ко второй половине XVII в. К этому же времени относится и пара очков XVII в., хранящаяся в Государственном Историческом музее в Москве (№ 64212/М11649).

Данные оптических линз упомянутых выше четырех пар очков приведены в табл. 4 [9, с. 150]. Линзы в этих очках выпуклые (собираательные). Такие линзы вставляют в очки для дальнозорких. Диаметр линз составляет от 3,3 до 4,5 см, а их фокусные расстояния колеблются в пределах от 45 до 24 см (от 2,2 до 4,2 диоптрий соответственно). Естественно, качество обработки линз улучшается от начала века к его концу. Кроме того, в первой половине XVII в. числа диоптрий левой и правой линз одной и той же пары очков довольно существенно отличаются. Это можно объяснить неточностью (или несовершенством) методов контроля фокусного расстояния линз.

Таблица 4

Оптические данные линз очков XVII в., хранящихся в Государственной Оружейной палате в Москве [9, с. 150]

Инвентар- ный №	Вероятное время из- готовления (годы)	Форма линз	Диаметр линз, см	Фокусное расстояние, см	Число диоптрий	Цвет стекла
15308	1600—1630	Плоско- выпуклая	3,3	45	2,2 *	Белый
		То же	3,4	30	3,3	»
15306	1640—1660	»	3,3	29	3,5 *	Чуть зеле- новатый
		»	3,3	24	4,2	»
15305	1660—1670	»	3,8	25	4,0 **	Зеленоватый
15304	1670—1690	»	4,5	33	3,0 **	Белый

* Верхняя строка — правое стекло, нижняя строка — левое стекло.

** Оба стекла одинаковые.

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ И ТЕЛЕСКОПЫ

Считается, что первый телескоп построил З. Янсен в 1604 г. по модели некоего итальянца, на которой было написано «anno 1590» [17]. Документы, на которых основана эта версия, были впервые опубликованы в 1655 г. Пьером Борелем в его книге «De vero telescopii in venturo. . .» [18].

«Во всяком случае, — писал академик С. И. Вавилов, — какой-то итальянец в 1590 г. построил трубу, и она начала ходить по рукам как секрет, который прежде всего хотели продать за хорошие деньги для военных надобностей. История так называемого «изобретения» телескопа является поэтому путаным клубком различных темных махинаций не столько оптиков, сколько дельцов и жуликов (известно, например, что З. Янсен обвинялся как фальшивомонетчик).

Такая история имеет мало отношения к оптике. . . Существенно только, что в начале XVII в. для военных и государственных людей (например, окружения Генриха IV) стало постепенно выясняться значение оптических труб для мореплавания и военного дела» [6, с. 255]. Так или иначе, в истории создания зрительной трубы важно то обстоятельство, что она была впервые создана практиками, а не учеными-теоретиками, обладающими к этому времени достаточными знаниями.

Весть об изобретении и о существовании зрительной трубы дошла до Галилео Галилея. В 1609 г. он создал свою конструкцию зрительной трубы, состоящую из одной положительной (выпуклой) и одной вогнутой линз [19, 20]. Здесь важно то обстоятельство, что зрительная труба была создана Галилеем на научной основе, он опирался на те знания, которые были накоплены в оптике к этому времени ¹.

Осенью 1609 г. Галилей направил созданную им зрительную трубу в небо и сделал первые телескопические наблюдения, открывшие новую и неожиданную картину мира: удаленность звезд, сложность Млечного Пути, солнечные пятна, вращение Солнца, неровность лунной

¹ Термин «телескоп» был введен несколько позже филологом Домесиани (1576—1614) по просьбе председателя римской академии деи Линчей князя Федерико Чези; в первых своих работах Галилей пользуется терминами *Perspicillum* (перспектива), либо *ochiale* (окуляр, раньше так называли подзорную трубу).

поверхности. (Научная деятельность Галилея имела огромное значение для победы гелиоцентрической системы мира).

Эти открытия произвели большое впечатление на современников. Достаточно сказать, что И. Кеплер под впечатлением открытий, сделанных Г. Галилеем с помощью его зрительной трубы, вновь возвращается в 1610 г. к практической оптике. У него возникает идея создать принципиально новую зрительную трубу, состоящую из двух двояковыпуклых линз [21].

Однако сам Кеплер такую трубу не создал. Первым, кто воплотил идею Кеплера в жизнь, был, по-видимому, Х. Шейнер, который, вероятно всего, не позднее 1613 г. сконструировал свой телескоп (по схеме Кеплера) и использовал его для демонстрации солнечных пятен, вследствие чего назвал свой прибор гелиоскопом [22]. Шейнером был также впервые построен трехлинзовый телескоп, так называемая земная труба, дающая прямое изображение.

На Руси первые зрительные трубы появились в 1614 г. Об этом свидетельствует запись в «Расходной книге денежной казны» русского царя Михаила Федоровича за 1614—1615 гг., в которой, в частности, говорится о том, что в ноябре 1614 г. московский купец М. Смывалов привез царю из-за границы «трубочку», что дальше, а в нее смотря, видитца близко» [23, с. 138].

В период с 1614 по 1630 г. в Москву было привезено по крайней мере еще три зрительные трубы: «Трубка призорная большая в меди. Трубка призорная сребряна золочена, резная весом 38 золотников без стекол. Трубка призорная невелика, поволочена бархатом зеленым» [23, с. 141]. В 1657 г. царь Алексей Михайлович поручает купцу Д. Гебдону приобрести для него в Венеции различные товары, в том числе и зрительные трубы.

Во второй половине XVII в. интерес к зрительным трубам возрастает и они начинают уже использоваться любителями астрономии для изучения звездного неба.

Большое значение для развития инструментальной оптики в России имел перевод в 70-х годах XVII в. на русский язык трактата гданского астронома Иоанна Гевелия «Селенография, или описание Луны», изданного в Гданске на латинском языке в 1647 г. [24]. Русские читатели получили возможность ознакомиться с новейшими достижениями в области оптики и принципами кон-

струирования различных оптических инструментов, в том числе и зрительных труб.

До нашего времени сохранилось довольно большое количество зрительных труб XVII в. В Государственном Эрмитаже в Ленинграде имеется шесть труб этого периода. Наиболее раннего изготовления — зрительная труба первой половины XVII в. (инв. № ТХ—889), состоящая из семи вдвигающихся друг в друга картонных тубусов. К этому же времени относится и зрительная труба, принадлежавшая французскому астроному Пьеру Гассенди (инв. № ТХ—891). Зрительные трубы второй половины XVII в. имеются и в Музее М. В. Ломоносова (Ленинград). Наибольший интерес представляет зрительная труба, состоящая из восьми вдвигающихся друг в друга картонных тубусов, работы английского оптика Джона Яррвелла. В Государственном Историческом музее в Москве имеется зрительная труба конца XVII в., состоящая из пяти вдвигающихся друг в друга картонных тубусов. Оправы объектива и окуляра деревянные, точеные. Эта труба, согласно имеющейся на тубусе надписи, была изготовлена в 1694 г. немецким мастером Т. Сойгером. Длина трубы в раздвинутом положении 250 см, в сложенном 68 см; диаметр объектива 8 см.

Среди сохранившихся зрительных труб конца XVII — начала XVIII в. имеются и бинокулярные зрительные трубы, предназначенные для объемного восприятия изображений предметов. Две такие трубы находятся в Государственном Историческом музее (инв. № 82007/648 и 82007/649). Они были изготовлены И. М. Доблером.

Другая бинокулярная зрительная труба начала XVIII в. работы французского мастера Весди находится в Эрмитаже (инв. № ТХ—1273). Она состоит из трех вдвигающихся друг в друга деревянных тубусов прямоугольного сечения, оклеенных кожей. Наружный тубус и крышки украшены накладными золочеными планками с изображениями русского герба и ордена Андрея Первозванного.

Прогрессивную роль в распространении зрительных труб на Руси и их применении в астрономии и военном деле сыграл Петр I. По его инициативе Россия в конце XVII—начале XVIII в. закупила в западноевропейских странах большое количество зрительных труб. Сам Петр I имел в 1728 г. в своем распоряжении 25 зрительных труб разных размеров [25]. Некоторые из них, находившиеся

ранее в «Кабинете Петра Великого», хранятся теперь в Государственном Эрмитаже в Ленинграде.

Одним из лучших русских популяризаторов оптических инструментов был известный государственный и военный деятель конца XVII—начала XVIII в. Я. В. Брюс, проявлявший большой интерес к изготовлению зрительных труб и организовавший у себя дома в Глинках под Москвой небольшую мастерскую. В Государственном Эрмитаже и Музее М. В. Ломоносова хранятся жестяные зрительные трубы, которые, вероятно, были изготовлены в мастерской Брюса.

Петр I стремился поставить оптические приборы на службу русской армии и военно-морского флота. Еще до переезда из Москвы в Петербург Петр I организовал у себя при дворе небольшую оптическую мастерскую, в которой изготавливались в большом количестве зрительные трубы и другие оптические инструменты и в которой работали придворные оптики Петра — Л. Шепер, И. Беляев и Д. Колосов [26].

После основания в 1724 г. Петербургской академии наук в истории русской инструментальной оптики начался новый период. В зрительных трубах нуждались астрономические обсерватории, физический кабинет, многочисленные экспедиции. В течение всего XVIII в. Астрономическая обсерватория Академии наук постоянно пополнялась различными зрительными трубами. Кроме того, в XVIII в. практиковалось строительство так называемых малых обсерваторий при квартирах академических астрономов [27]. Для них Академия наук также приобретала зрительные трубы.

Вскоре после организации в Петербурге Академии наук при ней были созданы мастерские, в которых среди прочих приборов изготавливались и зрительные трубы.

Положительную роль в развитии отечественного оптического производства сыграло приглашение в Петербургскую академию наук из Саксонии И. Г. Лейтмана, написавшего в 1719 г. книгу «Новые заметки о шлифовании стекла» [28]. Переезжая в Россию, Лейтман перевез с собой и прекрасно оборудованную оптическую мастерскую.

Почти одновременно с лейтмановской мастерской в 1726 г. при Академии наук возникла другая оптическая мастерская, так называемая беляевская. Сохранился документ, согласно которому 26 июня 1729 г. Иван Беляев получил заказ на изготовление очень большого числа «преспективных трубок» [29, с. 15].

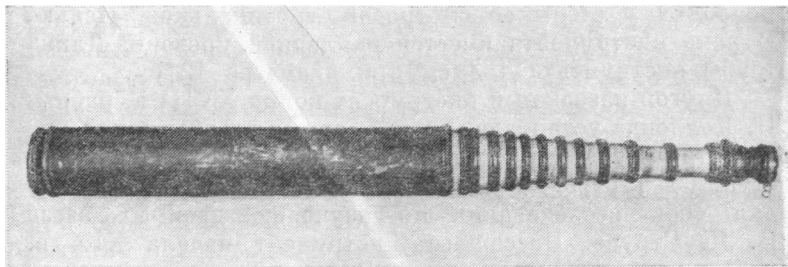


Рис. 36. Зрительная труба работы русского оптика И. И. Беляева (1764).
Экспонат Музея М. В. Ломоносова (Ленинград)

Позже в этой же мастерской стал работать сын И. Е. Беляева — И. И. Беляев. В 1764 г. им были изготовлены зрительные трубы, предназначенные для экспедиции В. Я. Чичагова [30]. Из шести изготовленных И. И. Беляевым зрительных труб три были «особливыми», предназначенными для сумеречного времени. Проект этих труб был предложен в 1756 г. М. В. Ломоносовым. До нашего времени сохранилась одна из зрительных труб работы И. И. Беляева (рис. 36).

Примерно в середине XVIII в. в России появились пассажные инструменты. Этот вид оптических приборов был предложен для специальных астрономических наблюдений еще в конце XVII в. датским астрономом Олафом Рёмером. Пассажный инструмент состоял из обыкновенной длиннофокусной зрительной трубы, снабженной горизонтальной осью, и предназначался для определения моментов прохождения небесных светил через меридиан.

В 1748 г. астроном Петербургской академии наук А. Н. Гришов заказал английскому мастеру Д. Берду пассажный инструмент в 5 французских футов. В 1751 г. этот инструмент был установлен в домашней обсерватории Гришова в Петербурге. Он хорошо сохранился до нашего времени, и его можно увидеть в Музее М. В. Ломоносова в Ленинграде. Длина трубы инструмента 162 см.

Начиная с середины XVIII в. пассажные инструменты стали изготавливаться в большом количестве в разных оптических мастерских мира. В Астрономической обсерватории Вильнюсского государственного университета хранится пассажный инструмент второй половины XVIII в. работы Д. Рамсдена. Он установлен на двух каменных

консолях у стены со смотровой вертикальной щелью. В раме инструмента имеется накладной уровень. Длина трубы инструмента 183 см при диаметре 12 см.

Другой пассажный инструмент конца XVIII в. работы П. Доллонда установлен на мраморных столбах в помещении старой Тартуской обсерватории. Этот инструмент поступил в Тартуский университет в 1806 г. На нем проводил свои исследования по изучению двойных звезд В. Я. Струве. Пассажный инструмент начала XIX в. работы английского мастера Эварда Троутана имеется в коллекции инструментов Музея М. В. Ломоносова.

Первые зеркальные телескопы в России начал изготавливать уже упоминавшийся Лейтман. В период с 1726 по 1736 г. им было сконструировано несколько таких инструментов. К сожалению, до сих пор ни один из них не найден. Изготавливать зеркальные телескопы большого размера пытался и русский астроном начала XVIII в. Я. В. Брюс. Об этом свидетельствует письмо Брюса к Лейтману, датированное 17 августа 1727 г. В этом письме, в частности, говорится: «Что касается изготовления катадиоптрических труб, то следует напомнить, что их не так легко делать, как это себе представляли, и неудивительно, что англичане неохотно берутся делать эти трубы. Меж тем этим летом я велел сделать две подобные трубы, одну из металла, другую из стекла. . . и наибольшее затруднение состояло в первую очередь в том, что трудно было найти композицию металла, которая имела бы микроскопические скважины и полировалась бы как стекло. . . Однако должен сказать, что металлические (зеркала. — В. Г.) дают лучший результат, чем стеклянные, что, возможно, зависит от двойного отражения стекла» [31, с. 11].

В Архиве АН СССР имеется, кроме того, письмо Брюса к неизвестному лицу, относящееся к началу 30-х годов XVIII в. В нем имеются следующие строки: «При этом пересылаю два маленьких зеркала, из коих меньшее сделано с мышьяком, а другое без мышьяка. Пошлите их, пожалуйста, господину профессору Лейтману и сообщите ему, что я еще прошлым летом сделал катадиоптрическую трубу. . .» [31, с. 11—12].

Кроме указанных писем, в Государственном Эрмитаже в Ленинграде хранится большое сферическое зеркало для зеркального телескопа, на оборотной стороне которого имеется надпись: «Зделано собственным тцанием Графа Якова Вилемовича Брюса 1733 году августа месяца».

Наиболее значительных результатов в постройке зеркальных телескопов достиг в середине XVIII в. английский астроном и оптик Джеймс Шорт. Им было изготовлено в общей сложности около 1400 зеркальных телескопов самых различных размеров. Большинство их составляли телескопы, построенные по схеме Грегори.

Высокое качество телескопов Шорта обеспечивалось применением приемов, которыми не пользовались другие оптики: тщательный подгонкой большого и малого сферических зеркал друг к другу для каждого телескопа в отдельности, исправлением отдельных дефектов в изготовлении большого зеркала (так называемая ретушь зеркала), тщательной центровкой зеркал и окуляра инструмента и т. п.

Перечень всех типов зеркальных телескопов, изготовлявшихся Шортом, был опубликован впервые И. Бернулли в 1771 г. [32]. Многие телескопы имели небольшие размеры; фокусное расстояние их зеркал составляло от 3 до 144 дюймов, а увеличение — от 18 до 1200. Первый большой двенадцатифутовый грегорианский телескоп Шорт изготовил в 1743 г., второй — в 1762 г. Вплоть до 1776 г., т. е. до изготовления В. Гершелем своего двадцатифутового телескопа, эти телескопы Шорта оставались самыми большими в мире.

К телескопам Шорта проявляли большой интерес и русские ученые XVIII в. Подтверждением этого служит отрывок из протокола собрания Петербургской академии наук от 23 июня 1757 г.: «Господин профессор Гришов читал французский перевод письма, писанного прошлого 1756 году генваря 16 дня из Лондона, на английском языке, от тамошнего славного механика Шорта, в коем написано, между прочим, что оный Шорт делает телескопии новой инвенции, всех прежних гораздо лучше, за 1500 рублей, и ежели повелено будет, то он обещает такую же делать для Академии за объявленную цену, а господин советник Ломоносов и господин профессор Гришов дали свое мнение, что такую телескопию выписать надлежит, на что и прочие господа академики согласились, и определено писать о том в Канцелярию, что и учинено» [33, с. 384]. Достоверных сведений о приобретении этого телескопа не сохранилось.

В 1767 г. между Шортом и петербургскими астрономами устанавливается более тесная связь. Последнее было связано с намерением Петербургской ака-

демии наук провести наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца 24 мая 1769 г. 27 июля 1767 г. С. Я. Румовским было написано письмо Шорту по поводу приобретения Академией наук его зеркальных телескопов [34, с. 17—18]. Ответное письмо Шорта было получено Румовским и 8 октября 1767 г. зачитано в Академическом собрании. В нем, в частности, Шорт писал: «Петербургская академия оказала мне большую честь, возложив на меня поручение по изготовлению инструментов для этой цели. Вы можете быть уверены, что я не пожалею труда, чтобы доставить ей наилучшие инструменты, и прошу Вас заверить в этом Академию от моего имени. . .» [35, с. 51].

25 октября 1767 г. Петербургская академия наук послала в адрес Шорта 412 фунтов стерлингов и 2 шиллинга. 9 июня 1768 г. Шорт уже выполнил часть заказа, о чем свидетельствует его письмо с перечислением изготовленных им инструментов, среди которых были: «. . .зеркальные телескопы с фокусным расстоянием 3 фута. . . зеркальные телескопы с фокусным расстоянием 2 фута, снабженные объективными микрометрами, один из них с обыкновенным объективом, другой — с ахроматическим. . .» [35, с. 61]. К сожалению, ни один из упомянутых выше инструментов Шорта до сих пор не найден. Однако в коллекциях музеев СССР имеются другие зеркальные телескопы работы Шорта. В Музее М. В. Ломоносова имеется инструмент Шорта 1758 г. (рис. 37) с винтом для перемещения малого зеркала (без штатива). Длина инструмента 164 см, диаметр зеркала 19,8 см. Другой рефлектор Шорта, изготовленный им в 60-х годах XVIII в., хранится в Ташкентской астрономической обсерватории. Инструмент имеет четыре фигурные ножки с установочными винтами, а также механизмы для вертикального и горизонтального наведения трубы телескопа.

В связи с историей изготовления зеркальных телескопов в России нельзя не упомянуть о замечательном русском мастере И. П. Кулибине. В 1768 г. Кулибиным был изготовлен зеркальный телескоп, который он преподнес Екатерине II. К сожалению, этот уникальный инструмент не сохранился.

В начале 70-х годов XVIII в. в Петербурге была открыта оптическая мастерская Френсиса Моргана, изготавливавшая самые разнообразные оптические инструменты, в том числе и грегорианские телескопы. Качество опти-

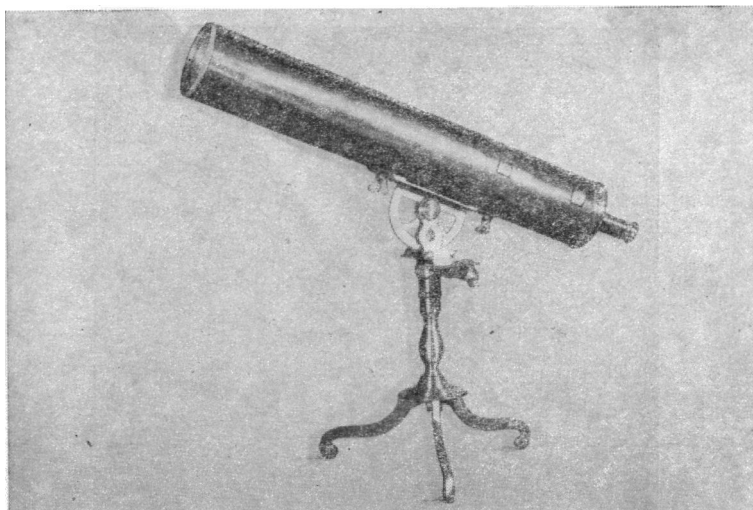


Рис. 37. Зеркальный телескоп, грегорианский, работы Д. Шорта (1758). Экспонат Музея М. В. Ломоносова (Ленинград)

ческих инструментов Моргана по отзывам современников было превосходным. К концу 70-х годов XVIII в. количество оптических инструментов, выпускаемых мастерской Моргана, настолько возросло, что для их сбыта в 1779 г. в Петербурге был открыт специальный магазин.

Хорошие зеркальные телескопы системы Грегори изготавливал также поселившийся в Петербурге в самом конце XVIII в. английский мастер научных приборов Р. Танджейт. В Музее-усадьбе Ф. И. Тютчева в Мураново (Московская область) хранится зеркальный телескоп работы Р. Танджейта. Инструмент установлен на латунном штативе с тремя фигурными ножками и имеет механизм для вертикальной и горизонтальной наводки.

В музеях СССР есть много других зеркальных телескопов: конструкции английского мастера Джона Кеффа (середина XVIII в., Музей М. В. Ломоносова), работы французского мастера Клода Пари (середина XVIII в., Музей М. В. Ломоносова), изготовления французского мастера Клода Пассемана (середина XVIII в., Вильнюсская астрономическая обсерватория и Государственный Эрмитаж), два инструмента Эдварда Нэрна (вторая половина XVIII в., Музей М. В. Ломоносова), работы П. Дол-



ДЖОН ДОЛЛОНД
(1706—1761)

лонда (конец XVIII в., Ташкентская астрономическая обсерватория).

Период с середины XVIII в. до 40-х годов XIX в. — время, когда наибольшее распространение получили ахроматические телескопы (рефракторы). Естественнонаучной предпосылкой для создания таких телескопов явилось открытое в 1666 г. И. Ньютоном явление дисперсии света. Обнаружив зависимость показателя преломления стекла от цветности, Ньютон объяснил дисперсию света в призме и линзах, а также причину «радужного ореола» в телескопе, т. е. объяснил хроматическую абберацию оптических систем [36].

В Государственном Историческом музее хранится зрительная ахроматическая труба середины XVIII в. работы Джона Доллонда (инв. № 84971). Она состоит из

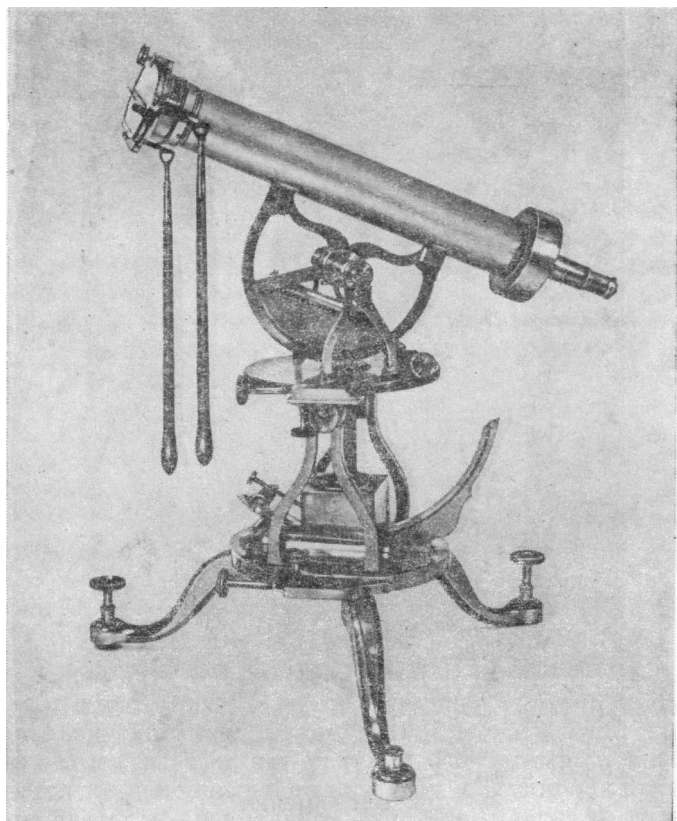


Рис. 38. Ахроматическая зрительная труба работы английского оптика Доллонда (вторая половина XVIII в.)

двух латунных тубусов, один из которых (наружный) оклеен красным деревом. Длина ее в сложенном состоянии 51 см, в раздвинутом 92 см, диаметр 5,8 см. В музеях СССР имеется еще несколько труб работы Джона и Петера Доллондов. Одна из них хранится в Музее М. В. Ломоносова. Труба прибора имеет латунный штатив с тремя фигурными ножками и механизм для вертикальной и горизонтальной наводки. Изготовлена она во второй половине XVIII в. Аналогичные трубы имеются в Государственном Историческом музее, в Музее-усадьбе Архангельское, в Вильнюсской астрономической обсерватории.



ДЖЕССИ РАМСДЕН
(1735—1800)

Начиная с 1757 г. ахроматические телескопы стали изготавливаться на оптических заводах Б. Мартина, и вскоре их можно было приобрести во многих оптических магазинах Англии. Интересно отметить, что стоимость ахроматических телескопов определялась их длиной и продавались они, согласно прейскуранта 1777 г., по цене 16 шиллингов за фут. Длина ахроматических телескопов составляла в то время от одного до восьми футов.

В Государственном Историческом музее в Москве имеется хорошо сохранившийся экземпляр ахроматической зрительной трубы конца XVIII в. работы английского мастера Джесси Рамсдена (рис. 39). Она состоит из трех

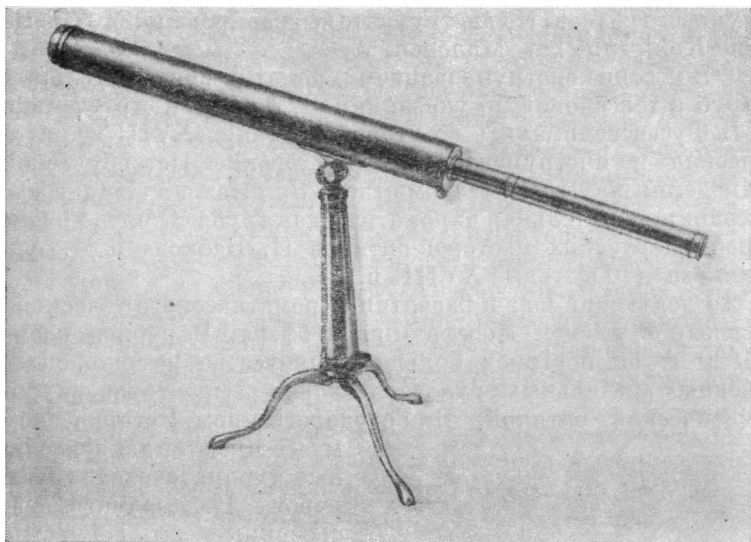


Рис. 39. Ахроматическая зрительная труба работы Рамседена (конец XVIII в.)

вдвигающихся друг в друга латунных тубусов и имеет кремальеру для перемещения окулярного тубуса. Труба установлена на штативе с тремя фигурными ножками. Имеется два дополнительных окуляра и окулярная призма, хранящиеся в специальном футляре красного дерева.

Появились и получили распространение ахроматические телескопы и во Франции. 4 мая 1761 г. парижский оптик К. С. Пассман продемонстрировал перед королем Людовиком XV наземный ахроматический телескоп длиной в 1 м. В 1763 г. тот же оптик построил карманный телескоп длиной всего 8 см с ахроматическим объективом диаметром около 4 см, который состоял из трех линз.

В Голландии во второй половине XVIII в. ахроматические телескопы изготавливались на оптическом заводе Яна ван Дейла и его сына — Германуса ван Дейла. Первоначальные сведения об изготовлении ахроматических телескопов в Германии относятся к 1764 г. Эти телескопы по своему качеству не уступали английским. В Государственном Историческом музее хранится зрительная труба конца XVIII в. работы немецкого мастера М. Воэрле. Труба состоит из двухдвигающихся друг в друга ла-

тунных тубусов. На инструменте выгравировано: M. Woerle in Kohlgrub bei Munchen.

В России конструированием ахроматических зрительных труб и телескопов по указаниям Л. Эйлера и его ученика Н. Фусса занимались во второй половине XVIII в. оптическая и инструментальная мастерские Петербургской академии наук. В Русском отделе Эрмитажа в Ленинграде хранится зрительная ахроматическая труба «О пяти колен» работы русских мастеров-оптиков Н. Бабкова и М. Архипова (70-е годы XVIII в.).

Следующий шаг в развитии ахроматического телескопа связан с именем Йозефа Фраунгофера. В период после 1820 г. он построил большое количество высококачественных зрительных труб и телескопов-рефракторов с ахроматической оптикой. В Государственном Историческом

музее имеются две зрительные ахроматические трубы работы Й. Фраунгофера, созданные им совместно с Утцшнейдером и Мерцем в первой половине XIX в. Зрительная труба первой четверти XIX в. работы тех же авторов имеется также в Музее М. В. Ломоносова. Объективный тубус этой трубы сделан из красного дерева. Оправа окуляра латунная. Труба установлена на латунном штативе с тремя фигурными ножками и имеет механизм для вертикального наведения трубы.

Самым крупным достижением Фраунгофера было изготовление им

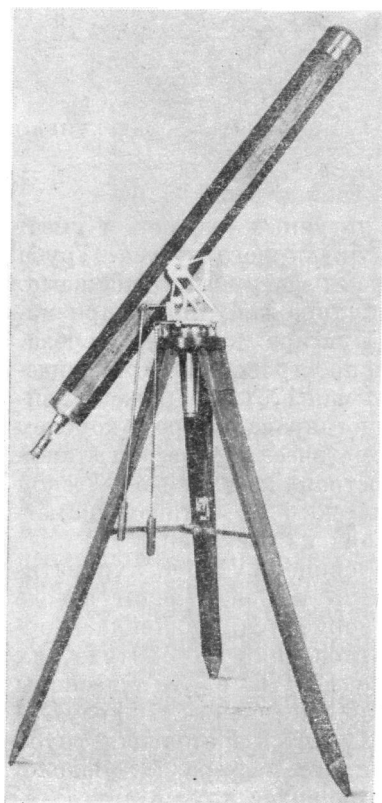


Рис. 40. Ахроматическая зрительная труба, изготовленная в 1822 г. Экспонат Музея М. В. Ломоносова (Ленинград)

в 1824 г. ахроматического телескопа-рефрактора «Большой Фраунгофер» (см. рис. 20). С 1825 по 1839 г. на этом инструменте работал русский астроном В. Я. Струве. За изготовление этого телескопа Фраунгофер получил дворянское звание. В настоящее время этот уникальный инструмент находится в Тартуской астрономической обсерватории. Телескоп имеет свободное отверстие объектива 9 дюймов (22,8 см). Труба телескопа и штатив изготовлены из ели и красного дерева. Корпус трубы в середине и на обоих концах охвачен бронзовыми кольцами. На кольце, находящемся у окулярного конца трубы, имеется гравированная надпись: *Utzschneider und Fraunhofer in Munchen*. Длина трубы инструмента 450 см, высота штатива 200 см.

В старой обсерватории в г. Тарту имеется телескоп-рефрактор работы Утцшнейдера и Фраунгофера со свободным отверстием объектива в четыре дюйма (10 см). Телескоп-рефрактор работы Мерца и Малера со свободным отверстием в 9 дюймов (22,8 см) имеется в Казанской астрономической обсерватории. Труба этого инструмента, изготовленная из ели и красного дерева, снабжена трубкой-гидом, микрометрами и набором окуляров, позволяющих получать увеличения 65, 90, 113, 140, 144, 151, 214, 220, 235, 320, 350, 460, 480, 600, 800 и 1000 крат. Штатив телескопа — чугунный. Перемещение трубы осуществляется часовым механизмом. Длина трубы 423 см, диаметр 24,3 см.

В начале XIX в. производство ахроматических зрительных труб было также налажено в России — в механических заведениях Главного Штаба в Петербурге. Одна из таких труб с восьмигранным тубусом из красного дерева и латунными оправами объектива и окуляра, устанавливаемая на треноге, хранится в Музее М. В. Ломоносова в Ленинграде (рис. 40). На инструменте выгравирована надпись: «Мех : зав. : Гл : Шт : Его. Имп. : Ве : 1822».

Создание ахроматической оптики дало мощный толчок развитию оптического приборостроения и ускорило процесс накопления новых данных в астрономии и других естественных науках.

Простые микроскопы

Простые микроскопы, состоящие из одной собирающей линзы, появились в XVII в. Больших успехов в их изготовлении добился голландский ученый А. Левенгук. Его микроскоп (рис. 41) представлял собой короткофокусную линзу, наглухо закрепленную между двумя металлическими пластинками. Совершенствуя на протяжении многих лет искусство изготовления короткофокусных линз малого диаметра, Левенгуку удалось получать совершенные по форме двояковыпуклые линзы, дававшие чистые и малоискаженные изображения. Линзу Левенгук делал из небольшого стеклянного шарика, расплавляя его в пламени. Затем он придавал соответствующую кривизну поверхности линзы, используя для этой цели несложные шлифовальные приспособления, которые сам же конструировал. Секрет изготовления линз для своих микроскопов Левенгук держал в тайне до самой смерти.

Левенгук изготовил около 400 микроскопов, дававших разное увеличение. До настоящего времени сохранился один экземпляр микроскопа Левенгука (рис. 41) в университетском музее города Утрехта. Линза этого микроскопа даже в ее теперешнем состоянии дает возможность четко различать наблюдаемые в ее поле зрения два объекта, находящиеся на расстоянии 0,0001 см друг от друга.

В Политехническом музее в Москве имеется точная копия микроскопа Левенгука, изготовленная в 1941 г. механиком Биологического отделения АН СССР Батановым по чертежам С. Л. Соболя. Размеры микроскопа $4,5 \times 2,5$ см, длина ручки 5 см.

После Левенгука усилия создателей простых микроскопов были направлены на достижения все больших увеличений и на усовершенствование механической части инструмента. Большой славой в конце XVII и первой половине XVIII в. пользовались микроскопы, изготовленные семейством лейденских механиков Мушенбрёков. В одном из вариантов микроскопа Мушенбрёков была заложена идея так называемого циркульного микроскопа, в искусстве изготовления которых больших успехов добился в XVIII в. И. Н. Либеркюн. В циркульном микроскопе Либеркюна (рис. 42) расстояние между пластинами, в которых была закреплена линза и объект наблю-



АНТОНИ ВАН ЛЕВЕНГУК
(1632—1723)

дения, регулировалось тонким микрометрическим винтом.

В 1765 г. Екатерина II приобрела у наследников Либеркюна его знаменитый Анатомический кабинет, в котором имелось большое количество микроскопов и микроскопических препаратов [1, с. 205—218; 3, с. 13—15]. За эту коллекцию канцлер Воронцов уплатил 6000 талеров. В настоящее время эта уникальная коллекция микроскопов Либеркюна экспонируется в Политехническом музее в Москве.

В ней имеются простые микроскопы нескольких типов. К первому типу относятся микроскопы, изображенные на

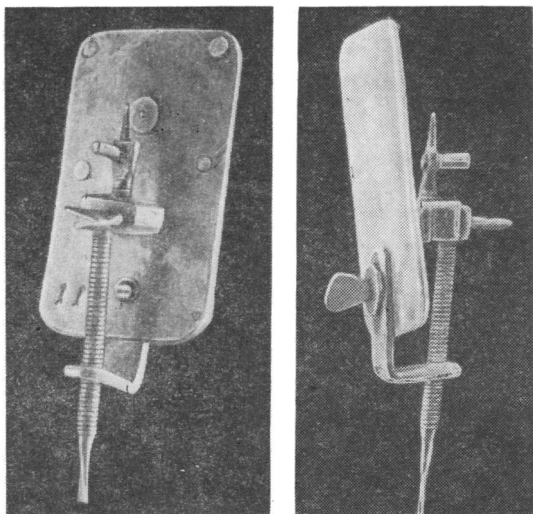


Рис. 41. Микроскоп А. Левенгука

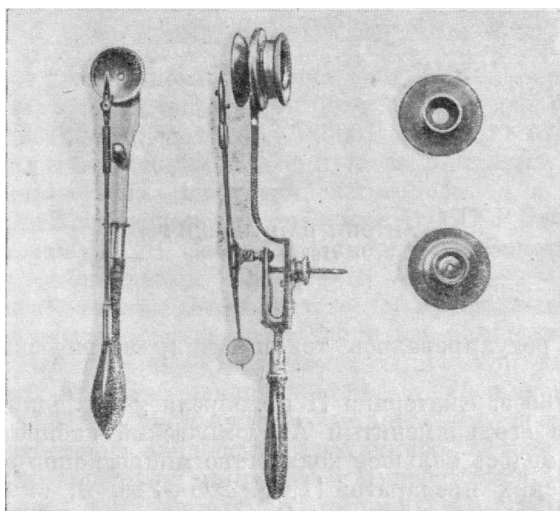


Рис. 42. Циркулярные микроскопы Либеркюна

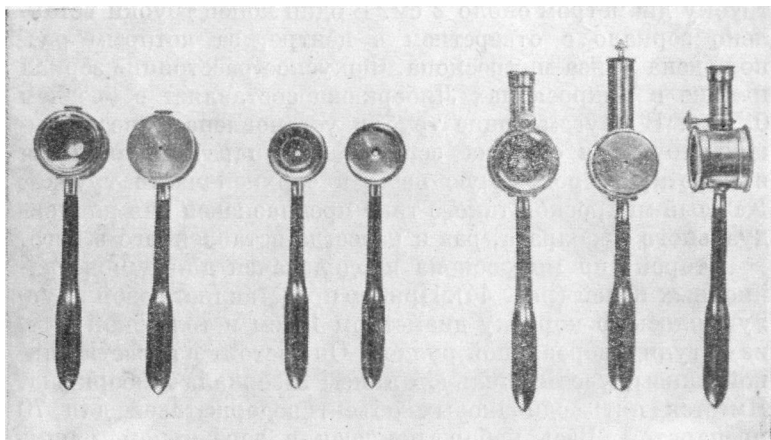


Рис. 43. Простые микроскопы Либеркюна

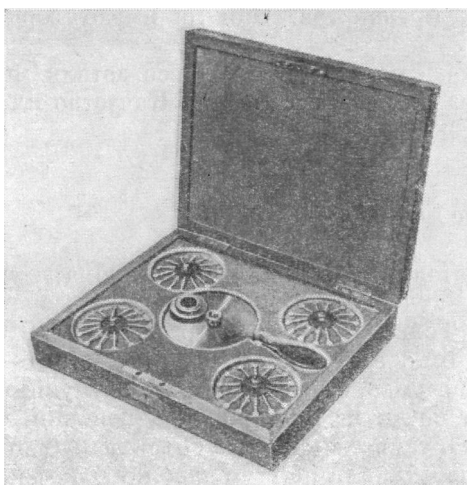


Рис. 44. Демонстрационный микроскоп Либеркюна

рис. 43. Они представляют собой короткую латунную трубку диаметром около 2 см. В один конец трубки вставлено зеркало с отверстием в центре, за которым расположена линза микроскопа. Фокусное расстояние зеркал и линз в микроскопах Либеркюна составляет в среднем 0,5 см. В другом конце трубки установлена линза, концентрирующая свет на зеркале. Препарат вставляется в короткую продольную щель в верхней части трубки. Каждый микроскоп такого типа предназначен для индивидуального препарата, раз и навсегда вставленного в него.

Второй тип микроскопа предназначен для демонстрационных целей (рис. 44). Прибор представляет собой круглую плоскую коробку диаметром 10 см и толщиной 2 см из латуни с деревянной ручкой. Он состоит из осветительной линзы, увеличительной линзы и зеркала Либеркюна. Имеется пять одинаковых объективодержателей для 70 препаратов. Весь набор помещен в деревянном ящике размером $18 \times 13 \times 5$ см.

Третий тип микроскопов Либеркюна предназначался для исследовательских целей.

В коллекции имеется еще один тип простых микроскопов, а точнее сказать, увеличительных стекол для прозрачных препаратов. Они не имеют зеркала и конденсора.

Либеркюн сам изготавливал все детали микроскопов, сам шлифовал линзы и зеркала. Качество их было очень высоким.

Сложные микроскопы

Изобретателями сложного микроскопа, состоящего из двух линз, считают обычно Г. и З. Янсенов, Галилея, Дреббеля. Точно известно, что в 1609—1610 гг. такой микроскоп был построен Г. Галилеем [41—43].

В первой половине XVII в. конструкция сложного микроскопа почти не претерпела изменений. От очковых линз, используемых в качестве объективных стекол в микроскопах, переходили ко все более короткофокусным линзам. В 1646 г. А. Кирхером в сочинении «Великое искусство света и тени», изданном в Риме [40] был приведен первый обзор имеющихся в то время типов микроскопов.

Русский читатель получил первые научные сведения о микроскопической технике из книги И. Гевелия «Селе-

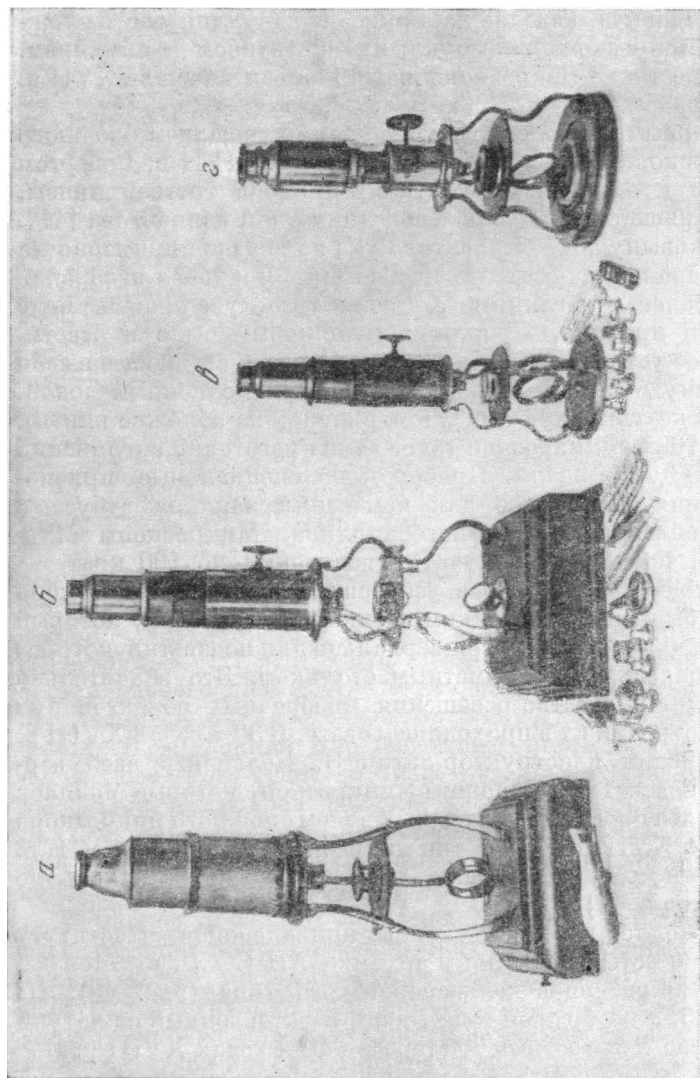


Рис. 45. Микроскопы кельперовского типа
 а — 40-х годов XVIII в.; б — 70-х годов XVIII в.; в — 80-х годов XVIII в.; г — конца XVIII в.

нография», изданной в 1647 г. в Гданске на латинском языке и переведенной на русский (церковнославянский) язык в 70-х годах XVII в. по указанию царя Алексея Михайловича. Гевелий дает описание двухлинзового сложного микроскопа с выпуклыми объективом и окуляром. Именно такие микроскопы изготавливал в начале XVII в. П. Дреббель.

Первым наиболее существенным улучшением сложного микроскопа было введение в 60-х годах XVII в. Робертом Гуком в оптическую схему микроскопа третьей линзы, получившей название полевой линзы или коллектива [41]. Двояковыпуклый коллектив Гука помещался примерно на середине между объективом и окуляром и делал изображение более отчетливым, а кроме того, увеличивал поле зрения прибора. Принципиально новым было и осветительное устройство в микроскопе Гука, включающее в себя масляную лампу, стеклянный шар, наполненный водой, и плоско-выпуклую линзу (см. рисунок на обложке книги).

В 1693 г. микроскоп такого типа изготовил английский оптик Д. Маршалл. Прибор имел специальные приспособления, служащие для изменения наклона тубуса и передвижения предметного столика. Микроскопы Маршалла позволяли получать увеличения до 100 крат.

Существенный шаг в усовершенствовании микроскопа Гука был сделан немецким оптиком Х. Гертелем, который ввел в микроскоп круглое зеркальце для подсветки, которое помещалось под предметным столиком. Это значительно улучшило качество освещения прозрачных объектов при рассмотрении их в проходящем свете. В 30-х годах XVIII в. английский конструктор-оптик Э. Кельпепер ввел зеркало подсвета в треножный микроскоп, который являлся наиболее простым и доступным видом сложного микроскопа начала XVIII в. Такой тип микроскопа получил в XVIII в. широкое распространение и просуществовал вплоть до 20-х годов XIX в.

В коллекции микроскопов, принадлежащих Институту истории естествознания и техники АН СССР, имеется девять микроскопов кельпеперовского типа (рис. 45). На рис. 45, а изображен микроскоп, изготовленный из латуни и дерева неизвестным мастером в 40-х годах XVIII в. Под столиком микроскопа установлено плоское зеркало в металлической оправе. Тубус состоит из трех частей. Увеличение микроскопа около 37 крат. На рис. 45, б показан микроскоп аналогичного типа работы оптика Гарриса

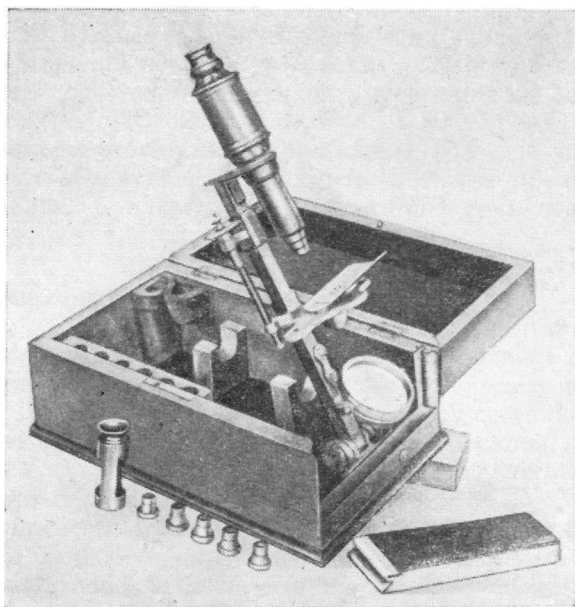


Рис. 46. Экспедиционный микроскоп Кёффа (70-е годы XVIII в.)

(70-е годы XVIII в.). Тубус прибора состоит из четырех частей разного диаметра. Сверху на него навинчивается трехлинзовый окуляр. Объектив микроскопа — однолинзовый. В коллекции имеется также микроскоп кельпеперовского типа, тубус которого состоит из двух свинчивающихся цилиндров разного диаметра. Прибор имеет двухлинзовый окуляр и однолинзовый объектив. Остальные микроскопы кельпеперовского типа аналогичны по своей конструкции предыдущим.

В период с 40-х по 70-е годы XVIII в. широкое распространение получают микроскопы английского оптика Джона Кёффа, представляющие собой наиболее совершенный по конструкции тип микроскопа. В 1744 г. Кёфф сконструировал новый тип штатива микроскопа, существенно облегчив тем самым работу с инструментом. Отличительной особенностью оптической части микроскопов Кёффа было наличие в нем плоско-выпуклого объектива, обращенного плоской стороной к объекту. Это усовер-

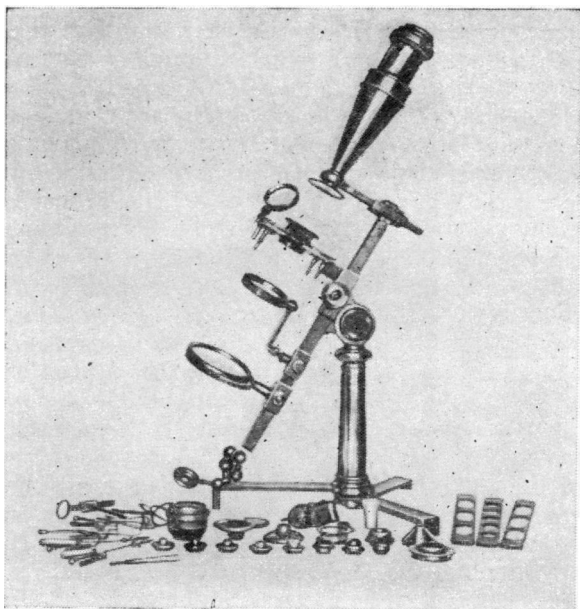


Рис. 47. Большой микроскоп Адамса (конец XVIII в.)

шенствование привело к значительному снижению величин остаточных аберраций, искажающих изображение. Увеличение в микроскопах Кёффа достигало 140 крат, а разрешающая способность — до 2,5 микрон.

В коллекции микроскопов, экспонирующей в Политехническом музее в Москве, имеется четыре микроскопа системы Кёффа. Один из них показан на рис. 46. Это экспедиционный микроскоп предположительно работы лондонских оптиков Найриа и Блента (60-е годы XVIII в.). При транспортировке он может быть уложен в ящик размером $31 \times 18 \times 14$ см. Зеркало подсвета микроскопа одностороннее, вогнутое. Тубус состоит из двух свинчивающихся частей, окуляр и объектив однолинзовые. В этом микроскопе есть еще одна линза, так называемый коллектив. Инструмент имеет набор из пяти объективов, позволяющих получать разное увеличение, а кроме того, насадку с зеркалом Либеркюна для наблюдения непрозрачных объектов.

В конце XVIII в. широкое распространение получают

микроскопы английских мастеров Мартина, Долланда, Адамса, Джонса и др. В коллекции Политехнического музея имеются некоторые из этих приборов. Наибольший интерес представляет большой универсальный микроскоп Адамса (рис. 47), построенный им в 90-х годах XVIII в. В комплект этого микроскопа входит большое количество сменных объективов и окуляров, а также препараты на специальных пластинках. Высота инструмента 53 см.

Солнечные микроскопы

В середине XVIII в. ученые стали проявлять повышенный интерес к демонстрациям микроскопических объектов. Последнее наиболее эффективно осуществлялось с помощью солнечного проекционного микроскопа (рис. 48). Ф. Т. У. Эпинус так описывал свои впечатления от демонстрации солнечного микроскопа: «Картины, образуемые солнечным микроскопом, настолько великолепны, что это трудно выразить словами. При первом взгляде я был поражен, мне казалось, что предо мною не картина, не изображение, а самый предмет, который словно каким-то волшебством увеличен до необычайных размеров» [42, с. 225]. Солнечный микроскоп можно было использовать для научных, педагогических, популяризационных и других целей. М. В. Ломоносов еще в 1752 г. намечал воспользоваться им при чтении курса физической химии.

Высокую оценку солнечного микроскопа дал С. Я. Румовский в речи, произнесенной им в 1763 г.: «Микроскоп, солнечным называемый, который недавно изобрел г. Либеркюн, больше всех достоин примечания. Он употребляется к рассматриванию тел, сквозь которые солнечный свет проходить может. Сложение его и употребление столь известны любителям физики и натуральной истории, что за излишнее почитаю оное здесь описывать. Вскоре потом г. Эйлер, член нашей Академии, предложил способ, каким образом не только солнечный микроскоп, но и волшебный фонарь для непрозрачных тел составить можно» [43, с. 19].

Некоторое время спустя после этой речи члены Петербургской академии наук Эпинус и Цейгер предложили свои конструкции подобных приборов.

Солнечный микроскоп состоял обычно из трубки, на одном конце которой располагался конденсор, а на дру-

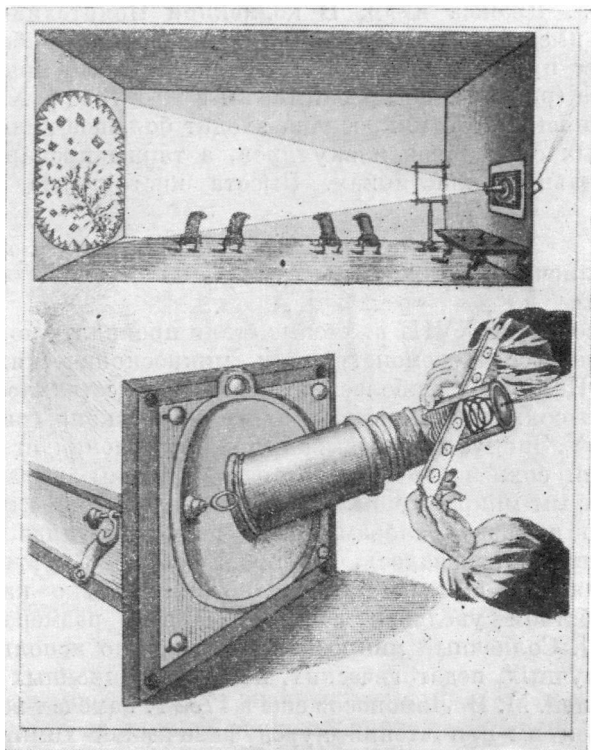


Рис. 48. Демонстрация микрообъектов с помощью солнечного микроскопа в XVIII в.

гом — простой микроскоп Вильсона. Именно в таком виде этот микроскоп появился в середине 30-х годов XVIII в.

В 1753 г. Леонард Эйлер предложил конструкцию солнечного микроскопа для непрозрачных объектов [44]. Спустя одиннадцать лет Эпинус построил солнечный микроскоп, в основе которого лежала идея Эйлера.

В 70-х годах XVIII в. подобный микроскоп изготовил лондонский оптик Бенджамин Мартин. После него такие микроскопы начали выпускать Адамс-младший, Д. Доллонд и другие мастера. В коллекции микроскопов Института истории естествознания и техники АН СССР имеется один микроскоп Мартина и один микроскоп ра-

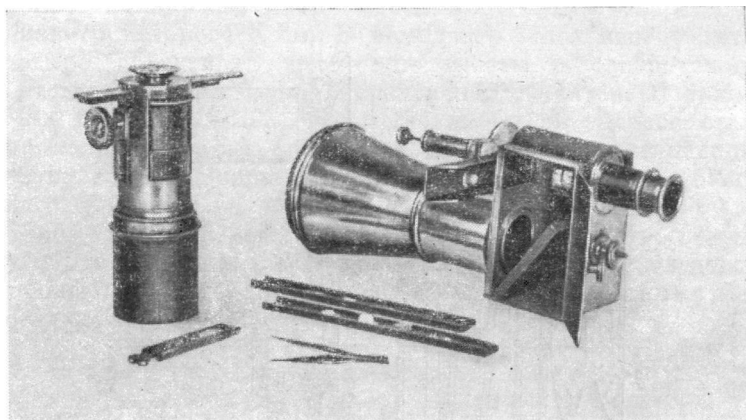


Рис. 49. Солнечный микроскоп Д. Доллонда (80-е годы XVIII в.)

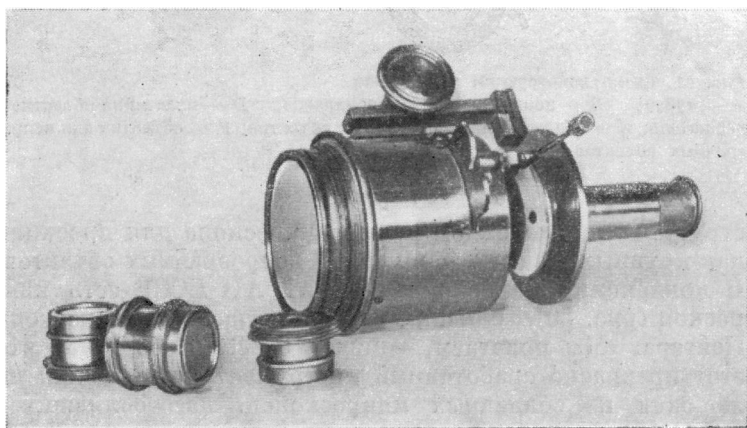


Рис. 50. Солнечный микроскоп (вторая половина XVIII в.)

боты Доллонда (рис. 49). В комплект микроскопа Доллонда также входит серия объективов (салазочный револьвер) и набор непрозрачных и прозрачных препаратов. Этот микроскоп принадлежал в XIX в. физическому кабинету Академии наук.

В 50-х годах XVIII в. И. Э. Цейгер разработал кон-

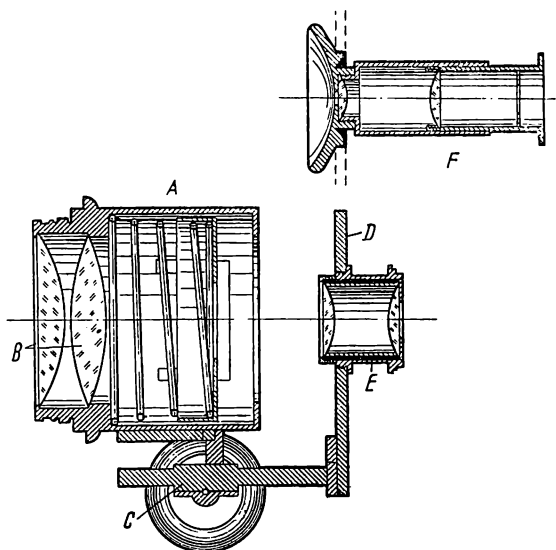


Рис. 51. Схема конструкции микроскопа

А — тубус; В — конденсор; С — кремальера; D — пластинка-объективно-держатель; E — объектив для прозрачных объектов; F — объектив для непрозрачных объектов

струкцию двойного солнечного микроскопа для проекции как крупных, так и очень мелких непрозрачных объектов. В коллекции микроскопов ИИЕиТ АН СССР есть микроскоп (рис. 50), близкий по конструкции к микроскопу Цейгера. «Мы полагаем, — пишет С. Л. Соболев, — что этот прекрасно сработанный инструмент, не похожий ни на один из солнечных микроскопов, изготавливавшихся в XVIII в. иностранными мастерами, сделан уже после отъезда Цейгера из России, т. е. после 1764 г., Иваном Ивановичем Беляевым, который внес в конструкцию, предложенную Цейгером, весьма существенные и целесообразные изменения» [1, с. 236].

Этот микроскоп (рис. 51) представляет собой латунный цилиндр длиной 6 см и диаметром 6,8 см, в один конец которого ввинчена круглая рамка с конденсором*. С другого

* На сегодняшний день нет единого мнения в вопросе о том, кто является создателем этого микроскопа.

конца цилиндр замыкается плоским кольцом с отверстием, диаметр которого 5 см. В комплекте этого инструмента четыре объектива: три — для работы с прозрачными объектами и один — для непрозрачных объектов. В конце 70-х годов XVIII в. такой же набор объективов стал применять в своих солнечных микроскопах английский оптик Адамс. Впервые расчет оптической схемы дублетного объектива солнечного микроскопа выполнил Эйлер. Такой объектив имел значительно больший отверстиевый угол по сравнению с обычными объективами и, следовательно, собирал больше солнечных лучей, необходимых для осуществления световой проекции на экран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы познакомились с особенностями развития прикладной оптики в XV—XIX вв. Рассмотренный период по праву можно назвать классическим, так как именно в это время появились практически все элементы, присущие современной прикладной оптике.

Характерная черта этого периода — перенос естественнонаучных знаний в оптике в прикладную область. Последнее привело к созданию самых разнообразных оптических приборов и инструментов различного назначения (микроскопов, телескопов, зрительных труб, фотографических объективов и т. п.).

Мы видели, что колыбелью прикладной оптики стала Италия. Именно здесь благодаря трудам Леонардо да Винчи, Г. Галилея, Э. Торричелли и др. был заложен тот фундамент, на котором впоследствии возникло стройное здание прикладной оптики. То, что именно Италия стала родиной прикладной оптики, не случайно. Могучее дыхание ренессансной культуры не могло не отразиться и на ходе развития оптической науки и техники.

В XVIII в. прикладная оптика становится интернациональной наукой и успешно развивается во Франции, Германии, Англии и других странах. Однако как самостоятельное научное направление теория оптических систем, составившая основу прикладной оптики, формируется лишь к середине XIX в., к концу этого века общая теория оптических систем приобретает уже вполне законченную форму.

Автор надеется, что знакомство с историей конкретной области науки и техники (каковой является прикладная оптика) поможет читателю понять ее место в сложной структуре современных научно-технических знаний, найти стыки с другими науками, выйти в пограничные области, являющиеся точками роста научно-технического прогресса.

Закончить эту книгу хотелось бы строками стихотворения Б. Слуцкого:

История — всегда разведка
в былом, но для грядущих лет.
Историк загибает ветку,
чтоб не свернул идущий вслед.

Историк трудится сутуло,
не разгибаясь по ночам,
чтоб эта ветка не хлестнула
вслед движущегося по очам.

Он пролагает путь кружной
через прошедшее в грядущее,
чтобы прошли — пусть стороной,
пусть по обочине —
идущие.

ЛИТЕРАТУРА

Введение

1. Нооре Е. Geschichte der Optik. Leipzig, 1926.
2. Ronchi V. Storia della luce. Bologna, 1952.
3. Лебедев В. И. Оптика и стекло: Опыт истории. Вологда, 1928.
4. Вавилов С. И. Глаз и солнце. М.: Наука, 1981.
5. Филанович С. Р. Лучи, волны, кванты. М.: Наука, 1978.
6. Толанский С. Революция в оптике. М.: Мир, 1971.
7. Пекара А. Новый облик оптики. М.: Сов. радио, 1973.
8. Clay R. S., Court T. H. The history of the microscope. L., 1932.
9. Bradbury S. Evolution of the microscope. Oxford, 1967.
10. Turner G. L' E. Collecting microscopes. Oxford, 1981.
11. Карпов В. Очерк общей теории микроскопа в ее историческом развитии. М., 1907.
12. Соболев С. Л. История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
13. Майстров Л. Е. Приборы и инструменты исторического значения: Микроскопы. М.: Наука, 1974.
14. Суворов А. Л. Микроскопия в науке и технике. М.: Наука, 1981.
15. King H. The history of the telescope. L., 1955.
16. Rieckher R. Fernrohre und ihre Meister. B., 1957.
17. Danjon A., Couder A. Lunettes et télescopes. P., 1935.
18. Гуриков В. А. История создания телескопа. — Ист.-астрон. исслед., 1980, вып. 15, с. 109—141.
19. Мельников О. А. История телескопа. М.: Знание, 1960.

Глава 1

1. Гуриков В. А. Светотехнические и оптические исследования Леонардо да Винчи. — Светотехника, 1982, № 9, с. 9—11.
2. Galeni C. Opera omnia. Lipsiae, 1821, t. 1.
3. Tetes J. Chiliades / Ed. Th. Kiessling. Hildesheim, 1963.
4. Вавилов С. И. Собр. соч.: В 4-х т. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. III.
5. Vascop R. Opus Majus. L., 1900, Vol. II.
6. Розенбергер Ф. История физики. М., Л.: ГИТТЛ, 1937.
7. Кудрявцев П. С. История физики. М.; Учпедгиз, 1948.

8. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20.
9. Ронки В. Влияние оптики XVII в. на общее развитие науки и философию. — Вопр. истории естествознания и техники, 1964, вып. 16.
10. Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
11. Leonardo da Vinci. Il Codice Atlantico di Leonardo da Vinci della Biblioteca Ambrosiana di Milano. Riprodotto e publ. della Regia accad. dei Lincei. Transcrizione diplomatica critica di Giovanni Piumati. Milano, Hoepli, 1894—1904, Vol. 1—4.
12. Везалий А. О строении человеческого тела. М.: Изд-во АН СССР, 1950.
13. Гуриков В. А. История создания телескопа. — Ист. астрон. исслед., 1980, вып. XV, с. 109—141.
14. Galilei G. Le Opere. Edizione Nazionale. Firenze, 1894. Vol. III. Цит. по кн.: Вавилов С. И. Собр. соч.: В 4-х т. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. III.
15. Зоннефельд А. Оптические данные небесного телескопа Галилея. — Йенское обозрение, 1962, № 6.
16. Еремеева С. И. Эванджелиста Торричелли: (К 350-летию со дня рождения). — Тр. ИИЕТ. 1959, т. 22, с. 281—288.
17. Ронки В. Галилей и Торричелли — мастера точной оптики. — Тр. ИИЕТ, 1959, т. 28, с. 276—301.
18. Гуриков В. А. Создатель первой научной теории оптических систем: (К 350-летию со дня смерти И. Кеплера). — Светотехника, 1981, № 1, с. 27—28.
19. Kepler I. Paralipomena ad Vittelionem, 1604.
20. Kepler I. Dioptrika. Leipzig, 1904.
21. Эйнштейн А. Иоган Кеплер. — Собр. науч. тр. М.: Наука, 1967. Т. 4.
22. Декарт Р. Рассуждение о методе с приложениями. Диоптрика, метеоры, геометрия. М.: Изд-во АН СССР, 1953.
23. Гуриков В. А. Первые сведения об ошибках оптических систем. — Вопр. истории естествознания и техники, 1980, вып. 4, с. 117—122.
24. Веселовский И. Н. Христиан Гюйгенс. М.: Госучпедиздат, 1959.
25. Christiani Hugonii Zelemii, dum viveret, Toparchae Opuscula Postuma, quae continent Dioptricum. Commentarios de Vitris Figurandis. Disserationem de Corona et Parheliis. Tractatum de Motu. De Vi Centrifuga. Descriptionem Planetarii. Lugduni Batavorum, 1703.
26. Франкфурт У. И., Франк А. М. Христиан Гюйгенс. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
27. Гюйгенс Х. Трактат о свете. М.; Л.: ГТТИ, 1935.
28. Ньютон И. Лекции по оптике. М.: Изд-во АН СССР, 1946.

29. *Ньютон И.* Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М.; Л.: Госиздат, 1927.
30. *Эйлер Л.* Письма о разных физических материях, писанные к некоторой немецкой принцессе, с французского языка на русский переведенныя Степаном Румовским, Академии наук членом, астрономом и профессором. СПб., 1771—1774. Ч. I—III.
31. *Соболь С. Л.* История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII веке. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
32. *Вавилов С. И.* Физическая оптика Л. Эйлера. — В кн.: Л. Эйлер: Сб. ст. М.; Л.: 1935, с. 29—38.
33. *Euler L.* Dioptricae. . . , t. 1—3. St.-Petersbourg, 1769—1771.
34. *Румовский С. Я.* Речь о начале и приращении оптики до нынешних времен. . . СПб., 1763.
35. *Euler L.* Constructio lentium objectivarum ex duplici vitro, quae neque confusionem a figura sphaerica oriundem, neque dispersionem colorum pariant. Petropoli, 1762.
36. *Klingenstjerna S.* Tentamen de definiendis et corrigendis aberrationibus radiorum luminis in lentibus sphaericis refracti, et de perficiendo telescopio dioptrico. Petropoli, 1762.
37. *Цейгер И. Э.* Рассуждение о стеклах различно свет преломляющих. . . , говоренное в публичном собрании имп. Академии наук июля 2 дня 1763 г. . . . СПб., 1763.
38. *Fuss N.* Lobrede auf Herrn Leonhard Euler, in der Versammlung der K. Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg den 23 October 1783 vorgelesen. Von dem Verfasser selbst aus dem Französischen übersetzt und vermehrt. Basel, 1786. Цит. по кн.: *Соболь С. Л.* История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII веке. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
39. *Aepinus F.* Description des nouveaux Microscopes, inventes par Mr. Aepinus. St.-Petersbourg, 1784.
40. *Гуриков В. А.* Первый ахроматический микроскоп. — Природа, 1981, № 6, с. 58—65.
41. Несколько неизданных писем Фридриха Цезаря Лагарпа. — В кн.: Старина и новизна. СПб., 1898.
42. *Ченакал В. Л.* Зажигательный инструмент Ломоносова. — В кн.: Ломоносов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951, т. III, с. 66—83.
43. *Ломоносов М. В.* Полн. собр. соч.: В 10-ти т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 1.
44. Протоколы заседаний Конференции имп. Академии наук с 1725 по 1803 год. СПб., 1899. Т. II.
45. *Пекарский П.* История имп. Академии наук в Петербурге Петра Пекарского. СПб., 1873. Т. II.
46. *Ченакал В. Л.* Иван Иванович Беляев. — М.: Наука, 1975,

47. Ломоносов М. В. Физико-химические работы. М.; Пг., 1923.
48. Ломоносов М. В. Полн. собр. соч.: В 10-ти т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 7.
49. Арх. АН СССР, ф. 3, оп. 1, № 245, л. 109—111.
50. Ломоносов М. В. Полн. собр. соч.: В 10-ти т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 4.
51. Ломоносов М. В. Химические и оптические записки. — Собр. соч.: В 10-ти т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955, т. 4, с. 405—464.
52. Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1900, Bd 20. Н. 1.
53. Ломоносов М. В. Полн. собр. соч.: В 10-ти т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. Т. 10.
54. Мельников О. А. Астрофизические исследования М. В. Ломоносова. — В кн.: Ломоносов: Сб. ст. и материалов. Л.: Наука, 1977, вып. VII, с. 63—102.
55. Рукописные материалы И. П. Кулибина в Архиве АН СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953.
56. Ченакал В. Л. Оптика в дореволюционной России. — Тр. ИИЕТ, 1947, т. 1, с. 121—167.
57. Гуриков В. А. Зеркальные осветительные приборы И. П. Кулибина. — Светотехника, 1981, № 7, с. 11—13.
58. Rohr M. Joseph Fraunhofers Leben, Leistungen und Wirksamkeit. Leipzig, 1929.
59. Мельников О. А. Йозеф Фраунгофер. — Тр. ИИЕТ, 1959, т. 22, с. 114—131.
60. Гуриков В. А. Первые ахроматические телескопы. — Земля и Вселенная, 1981, № 4, с. 68—71.
61. Араго Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров. СПб., 1859.
62. Herschel W. Discription of a forty-feet reflecting telescope. — Philosophical Transactions, 1795, vol. 85, p. 347—409.
63. Ченакал В. Л. Зеркальные телескопы Вильяма Гершеля в России. — Ист.-астрон. исслед., 1958, вып. 4, с. 253—339.
64. Новые ежемесячные сочинения, 1790, ч. XLIII, с. 68—72.
65. Архив князя Воронцова. М., 1879. Кн. XIII.
66. Еремеева А. И. Вселенная Гершеля. М.: Наука, 1966.
67. Herschel W. Investigation of the powers on the prismatic colours to heat and illuminate objects. — Philosophical Transactions Royal Society of London, 1800, vol. 90, p. 255—284.
68. Гуриков В. А. К предыстории инфракрасной техники. — Вопр. истории естествознания и техники, 1973, вып. 44, с. 53—56.
69. Barr E. S. Historical survey of the early development of the infrared spectral region. — Amer. J. Phys., 1960, vol. 28, N 1, p. 42—54.
70. Гуриков В. А. К вопросу развития теории теплового излуче-

- ния. — *Вопр. истории естествознания и техники*, 1977, вып. 56, 57, с. 69—72.
71. *Гуриков В. А.* Возникновение и развитие оптико-электронного приборостроения. М.: Наука, 1981.
 72. *Френель О.* Избранные труды по оптике. М.: ГИТТЛ, 1955.
 73. *Творцы физической оптики.* М.: Наука, 1973.
 74. *Bulletin de la Societe philomatique*, 1822, N 9, p. 3.
 75. *Gauss K. F.* Dioptrische Untersuchungen. — *Carl Fridrich Gauss Werke*. Göttingen, 1877, Bd. V. S. 244—276.
 76. *Nägeli und Schwendener.* Das Microskop. Theorie und Anwendung desselben. Leipzig, 1865—1867. Bd. 1, 2.
 77. *Seidel A.* Über die Entwicklung der Glieder dritter Ordnung, welche den Weg eines ausserhalb der Ebene der Axe gelegenen Lichtstrahlen durch ein System brechender Medien bestimmen. — *Astronomische Nachrichten*, 1856, Bd. 43, S. 289—332.
 78. *Берек М.* Основы практической оптики. М.: ГТТИ, 1935.
 79. *Зоммерфельд А.* Пути познания в физике. М.: Наука, 1973.
 80. *Deborah J. W.* Alwan Clark and sons artists in optics. Wash., 1968.
 81. *Сто лет Пулковской обсерватории: Сб. ст. М.; Л.: Изд-во АН СССР*, 1943.
 82. *Главная астрономическая обсерватория Академии наук СССР в Пулкове.* М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953.
 83. *Гуриков В. А.* 30-дюймовый Пулковский рефрактор. — *Земля и Вселенная*, 1982, № 3, с. 62—64.
 84. *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1904. Bd. 1.
 85. *Rohr M.* Ernst Abbe. Jena, 1940.
 86. *Рождественский Д. С.* Избранные труды. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1964.
 87. *Pogg. Ann.*, 1861, Bd. CXIV.
 88. *Catalog über «Optische Messinstrumente» der optischen Werkstätte von Karl Zeiss in Jena.* Jena 1893, N 18, S. 27—29.
 89. *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. II.
 90. *Abbe E.* Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena, 1874.
 91. *Цёльнер Г.* К 100-летию со дня рождения Пауля Рудольфа. — *Йенское обозрение*, 1958, № 5, с. 140—143.
 92. *Гуриков В. А.* Развитие технической оптики как теоретической базы оптического приборостроения. — В кн.: *Техника в ее историческом развитии (от 70-х годов XIX в. до начала XX в.)*. М.: Наука, 1982, с. 365—374.

Глава 2

1. *Соболь С. Л.* История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в. М.: Изд-во АН СССР, 1949.

2. Приборы и инструменты исторического значения: Науч. приборы. М.: Наука, 1968.
3. *Майстров Л. Е.* Приборы и инструменты исторического значения. Микроскопы. М.: Наука, 1974.
4. *Маркс К., Энгельс Ф.* Собр. соч. 2-е изд., т. 20.
5. *Гуриков В. А.* Так кто же изобрел очки? — Техника и наука, 1981, № 5, с. 38.
6. *Вавилов С. И.* Собр. соч.: В 4-х т. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. III.
7. *Ронки В.* Влияние оптики XVII в. на развитие науки и философии. — Вопр. истории естествознания и техники, 1964, вып. 16, с. 101.
8. *Fracastore G.* Homocentrica. . Venetii, 1538.
9. *Соболь С. Л.* Оптические инструменты и сведения о них в допетровской Руси. — Тр. ИИЕТ, 1949, с. 136—173.
10. *Викторов А.* Описание записных книг и бумаг старинных дворцовых приказов, 1584—1725 гг. М.: 1877. вып. 1.
11. Временник Моск. общества истории и древностей российских. М., 1852. Кн. XV.
12. *Грабарь И.* История русского искусства. М., 1915. Т. VI.
13. *Куриц Б. Г.* Сочинение Кильбургерд о русской торговле в царствование Алексея Михайловича. Киев, 1915.
14. Розыскные дела о Федоре Шакловитом и его сообщниках. СПб., 1885. Т. II.
15. *Соболь С. Л.* Очки в России в XVII в. — В кн.: Проблемы физиологической оптики. М.; Л., 1949, т. VII, с. 111—128.
16. *Талько И.* К истории очков в России (Патриаршие очки). — Вестн. офтальмологии, М., 1893, т. X, с. 89—90.
17. *Гуриков В. А.* История создания телескопа. Ист.-астрон. исслед., 1980, вып. XV, с. 109—141.
18. *Borellius P.* De vero Telescopii inventore, cum brevi omnium conspieliorum historia. . . The Hague, 1655.
19. *Galileo G.* Le Opera. Edizione Nazionale. Firenze, 1890—1909. Vol. III, pars. I.
20. *Galileo G.* Le Opera. Edizione Nazionale. Firenze, 1890—1909. Vol. VI.
21. *Kepler I.* Gesammelte Werke. . . München, 1937. Bd. 4.
22. *Scheiner Chr.* Described and illustrated in Scheiners. — In: «Ros^e Ureina sive sol etc. Bracciano», 1630.
23. *Соболь С. Л.* Оптические инструменты и сведения о них в допетровской Руси. — Тр. ИИЕТ, 1949, т. 3, с. 136—172.
24. *Hevelii J.* Selenographia. . . Gedani, 1647.
25. *Беляев О.* Кабинет Петра Великого. СПб., 1800, с. 166—167.

26. Ченакал В. Л. Оптика в дореволюционной России. — Тр. ИИБТ, 1947, т. 1, с. 121—167.
27. Ченакал В. Л. Малые обсерватории петербургской Академии наук в XVIII в. — Ист.-астрон. исслед., 1957, вып. 3.
28. *Leutmans I. G.* Neue Anmerkungen vom Glasschleifen. Wittenberg, 1719.
29. Ченакал В. Л. Иван Иванович Беляев. Л.: Наука, 1976.
30. Ченакал В. Л. Зрительные трубы М. В. Ломоносова для экспедиции Чичагова. — В кн.: Ломоносов: Сб. ст. и материалов. М.; Л.: Наука, 1969, вып. III, с. 326—332.
31. Ченакал В. Л. Яков Вилимович Брюс — русский астроном начала XVIII века. — Астрон. журн., 1951, т. 28, вып. 1, с. 3—14.
32. *Bernoulli J.* Lettres astronomiques. Berlin, 1771.
33. Протоколы Конференции Петербургской академии наук с 1724 по 1802 г. СПб., 1899. Т. 2.
34. Румовский С. Я. Явление Венеры в Солнце в Российской империи в 1769 году, учиненное с историческим предуведомлением. СПб., 1771.
35. Ченакал В. Л. Джеймс Шорт и русская астрономия XVIII в. — Ист.-астрон. исслед., 1959, вып. V, с. 11—76.
36. Гуриков В. А. Первые ахроматические телескопы. — Земля и Вселенная, 1981, № 4, с. 68—71.
37. *Harting P.* Das Microskop: Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwartige Zustand desselben. Braunschweig, 1859.
38. *Clay R. S., Court T. H.* The history of the microscope. L., 1932.
39. *Bradbury S.* The evolution of the microscope. Oxford, 1967.
40. *Kircher A.* Ars magna lucis et umbrae. Roma, 1646.
41. *Hooke R.* Micrographia, L., 1665.
42. *Aepinus F. V. T.* Emendatio microscopii solaris. — *Novi commentarii Acad. Sci. Petropol.*, 1764, t. IX, p. 318—319. Цит. по кн.: Соболев С. Л. История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в. М.: Изд-во АН СССР, 1949, с. 225.
43. Румовский С. Я. Речь о начале и приращении оптики. . . СПб., 1763.
44. *Euler L.* Emendatio laternae magicae ac microscopii solaris. — *Novi commentarii Acad. Sc. Petropol.* (1750—1751), *Petropol.*, 1753, t. III, p. 363—380.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аббе Э. (Abbe E.) 3, 106, 107, 110, 116—128, 129, 131
 Адамс Дж. (Adams J.) 162, 166
 Адамс (младший) (Adams) 163
 Адоевский Н. И. 135, 137
 Альхазен (Ибн-аль—Хайсам) 7, 8, 10, 30, 97
 Амичи Д. Б. (Amici J.) 52, 123, 128
 Аничков И. М. 135
 Араго Ф. (Arago F.) 87, 93, 94, 95, 97
 Аристотель (Aristoteles) 5
 Аристофан 4, 17
 Армати С. (Armati S.) 133
 Архипов М. 152
 Архимед (Archimedes) 4, 6, 17, 20, 38
 Архит 20
 Бабков Н. 152
 Бакунин П. П. 77
 Бальдоверо Д. (Baldowero J.) 19
 Барроу И. (Barrow I.) 44
 Безобразов А. 136
 Беляев И. И. 67, 69, 75, 142, 143, 165
 Берд Д. (Bird J.) 143
 Берек М. (Berek M.) 105
 Бернулли И. (Bernoulli J.) 145
 Блент (Blant) 162
 Борель П. (Borel P.) 139
 Браге Т. (Brahe T.) 29
 Бредихин Ф. А. 116
 Брюс Я. В. 142, 144
 Бэкон Р. (Bacon R.) 7, 8, 9, 10
 Вавилов С. И. 7, 9, 10, 13, 20, 48, 67, 72, 133, 135, 139
 Ван Дейл Германус (Van Deil G.) 151
 Ван Дейл Ян (Van Deil J.) 151
 Вебер В. (Weber W.) 116
 Весди (Wesdi) 141
 Вителло (Vitello) 6, 9, 10, 11, 30, 38
 Воронцов А. Р. 155
 Воэрле М. (Woerle M.) 151, 152
 Гален К. 4
 Галилей Г. (Galilei G.) 3, 15, 17—24, 26, 30, 31, 33, 43, 46, 139, 140, 158, 167
 Гамильтон В. Р. (Hamilton W.) 107
 Гаррис (Harris) 159
 Гартинг П. (Harting P.) 123
 Гартман И. (Hartmann J.) 70
 Гартнак Е. (Hartnac E.) 123
 Гаусс К. Ф. (Gauss K. F.) 3, 60, 99—102, 110
 Гвидобальдо дель Монте 17
 Гебдон Д. 140
 Гевелий И. (Hevelius J.) 140, 158
 Гельмгольц Г. (Helmholtz G.) 118, 121
 Генрих IV 139
 Герон Александрийский (Heronus Alexandrinus) 7
 Гертель Х. (Hertel Ch.) 159
 Гершель В. (Herschel W.) 3, 52, 69, 85—93, 145
 Гершель Дж. (Herschel J.) 111

- Гете И. В. (Goethe I. W.) 30
 Гёг (Hoog) 110
 Гинан П. Л. (Ginan P.) 80, 81
 Гольдбах Х. (Goldbach Ch.) 55
 Грегори Д. (Gregory J.) 55,
 69, 72, 74, 145, 147
 Гришов А. Н. 143, 145
 Груммер (Grummer) 57
 Гук Р. (Hooke R.) 27, 159
 Гурьев 78
 Гюйгенс Х. (Huygens Ch.) 3,
 26, 38—44

 Дауес В. Р. III
 Декарт Р. (Descartes R.) 3,
 33—38, 47, 55, 117
 Доблер И. М. (Dobler I.) 141
 Доллонд Д. (Dollond J.) 56,
 57, 148, 149, 163, 164
 Доллонд П. (Dollond P.) 144,
 147, 148, 149
 Домесиани (Domesiani) 18, 139
 Дреббель К. (Drebbel K.) 158,
 159

 Евклид (Eukleides) 5, 17, 30
 Екатерина II 52, 72, 73, 88, 146,
 155
 Зейдель А. (Seidel A.) 103,
 104, 105, 106, 110

 Извольский 72
 Иноходцев 88

 Кавальери Б. (Cavalieri B.) 26
 Кампани Д. (Campani J.) 63
 Карл II (Karl II) 52
 Кастелли Б. (Castelli B.) 24
 Кельпепер Э. (Kelperer E.) 68,
 159, 160
 Кеплер И. (Kepler I.) 3, 17,
 28—32, 35, 38, 117, 140
 Кёфф Д. 147, 161
 Кирхер А. (Kircher A.) 158
 Кларк А. (Clark A.) 110—116
 Кларк Г. (Clark G.) 110
 Кларк Д. (Clark J.) 110
 Климент IV (Kliment IV) 8
 Клингенштерн С. (Klingen-
 stierna S.) 57
 Клюгель Г. С. (Klügel G.) 79, 103
 Коддингтон Х. (Koddington Ch.)
 103
 Козимо II Медичи 23
 Колосов Д. 142
 Колотошкин А. И. 69, 70
 Коперник Н. (Kopernik N.) 30
 Коши О. Л. (Cauchy A.) 54
 Крафт Г. В. (Krafft G.) 65, 77
 Кулибин И. П. 72—79, 146

 Лагарп Ф. Ц. (Lagarp F. C.) 62
 Лаланд Ж. (Lalande) 67
 Ламберт И. Г. (Lambert J.) 67
 Левенгук А. (Leeuwenhoek A.)
 28, 154, 155, 156
 Лейтман И. Г. (Leutmann J.)
 142, 144
 Лексель А. И. 87
 Леонардо да Винчи (Leonardo
 da Vinci) 3, 4, 5, 10—16, 18,
 20, 30, 167
 Либгерр (Libgerr) 79
 Либеркюн И. Н. (Lieberkuhn J.)
 154, 155, 156—158, 163
 Листинг (Listing) 118
 Ломоносов М. В. 3, 58, 63—72,
 87, 132, 141, 142—147, 149,
 152, 153, 163
 Людовик XV 151

 Мавролик Ф. (Maurolycus F.)
 16, 20
 Магеллан (Magallanes) 87
 Маджотти Р. (Magiotti) 26
 Малер Ф. (Maler F.) 113
 Манжен А. 5
 Марк (Marc) 19
 Мартин Б. (Martin B.) 150, 163,
 164

- Маршалл Д. (Marschall J.) 159
 Меншуткин Б. Н. 67
 Мерц Г. (März G.) 113, 123, 152, 153
 Морган Ф. (Morgan F.) 146
 Мушенбрек П. (Mouschenbroeck P.) 154
 Найриа 162
 Негели (Nägeli) 101
 Никитин А. 136
 Ньюкомб С. (Newcombs S.) 112, 113
 Ньютон И. (Newton J.) 3, 27, 44—52, 54, 57, 69, 82, 86, 89, 90, 103, 148
 Нэрн Э. 147
 Ольденбург (Oldenburg) 43
 Павлов И. П. 15
 Паррот Е. И. (Parrot E.) 62
 Пассман К. С. (Passeman K.) 147, 151
 Паукер Г. Е. 114
 Первозванный А. 141
 Петр I (Великий) 141, 142
 Петцваль Й. (Petzval J.) 104, 105, 106, 108, 109, 110
 Платон (Platon) 17
 Плиний (Plinius) 4
 Попов 66
 Порты Д. Б. (Porta) 16, 20
 Приимков—Ростовский А. В. 89
 Птолемей (Ptolemaios) 30
 Пуассон С. Д. (Poisson S. D.) 95
 Райхенбах Г. (Raichenbach G.) 82
 Рамсден Д. (Ramsden J.) 143, 150
 Репсольд И. (Repsold J.) 114
 Рёмер О. (Roemer O.) 143
 Ривальто Д. (Riwalto) 133
 Риттенгауз (Rittenhaus) 82
 Риччи М. (Ritchie M.) 28
 Рождественский Д. С. 122
 Романов Ф. Н. 136
 Ронки В. (Ronchi W.) 25, 28, 133
 Росс (Стретт Д. В.) (Ross) 52, 111
 Рудольф П.
 Рудольф П. (Rudolf P.) 3, 110, 129, 130, 131
 Румовский С. Я. 56, 74, 88, 146, 163
 Рэлей Д. В. (Rayleigh J. W.) 108, 122
 Саккас И. (Sakkas I.) 4, 5
 Сенека Л. А. (Seneca L. A.) 4
 Смит Р. (Smith R.) 86
 Смывалов М. 140
 Снеллиус В. (van Snell) 35
 Соболев С. Л. 132, 135, 137, 154, 164
 Сойгер И. (Soiger I.) 141
 Спина А. (Spina A.) 133
 Спиноза (Spinoza) 43
 Струве В. Я. (Struve W.) 100, 113, 144, 153
 Струве Г. (Struve G.) 114, 116
 Струве О. В. (Struve O.) 113, 114
 Такэ А. 38
 Талько И. (Talko J.) 137
 Танджейт Р. 147
 Тард Ж. (Tard J.) 23
 Тейлор (Taylor) 110
 Тидеман И. Г. (Tidemann J. G.) 62, 63
 Тирютин Ф. Н. 69
 Торричелли Э. (Torricelli E.) 3, 24, 25—28, 167
 Троутан Э. 144
 Тютчев Ф. И. 147
 Уоддерборн Дж. 23
 Утцшнейдер И. (Utzschneider J.) 80, 152, 153
 Фабри Ш. (Fabri) 26
 Фавр Ж. М. (Favre) 62
 Фейль (Feil) 114

Филарет (патриарх) 136
Фогель Г. (Fogel G.) 107
Фойгтлендер (Foigtlander) 109
Фонтана Ф. (Fontana) 26, 27
Фракасторо Г. (Fracastoro) 134
Фраунгофер Й. (Fraunhofer J.)
3, 79—85, 119, 152, 153
Френель Л. (Fresnel L.) 3, 99
Френель О. Ж. (Fresnel O.)
3, 93, 94—99
Фусс Н. (Fuss N.) 58, 61, 78, 79,
152

Холл А. (Hall A.) 113

Цейгер И. Э. (Zeihner J.) 58,
163, 164, 165
Цейсс К. (Zeiss C.) 110, 116, 117,
119, 123, 125—129
Цецен И. 4

Чапский С. 119
Чези Ф. (Cesi F.) 16, 18, 23, 24
Ченс 111, 113, 114
Чижев Н. Г. 69
Чирнгауз Э. В. (Tschirnhausen E.)
65

Чичагов В. Я. 67, 143

Шарп 88
Шварцшильд К. (Schwarz-
schild K.) 107, 108
Швенденер (Schwendener) 101
Шейнер Х. (Scheiner Ch.) 32, 140
Шепер Л. (Scheper L.) 142
Шерсневский И. Г. 78
Шлейермахер Л. (Schleuerma-
cher L.) 103
Шорт Д. (Short J.) 145, 146, 147
Шотт О. (Schott O.) 123
Штейнгель А. (Steinheil A.) 110

Эйлер Л. (Euler L.) 3, 52—63, 78,
79, 103, 152, 163, 166
Эйнштейн А. (Einstein A.) 32
Энгельс Ф. (Engels F.) 9, 133
Эпинус Ф. Т. У. (Aepinus F.)
62, 63, 79, 163
Эри Г. (Aeri H.) 103, 113

Юнг Т. (Young T.) 93

Янсен З. (Janssen) 158
Ярвелл Д. (Jarvell J.) 141

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аберрация 10, 11, 35, 40, 41, 82, 102—110, 117, 119, 129
— сферическая 8, 11, 32, 35, 40, 44, 46, 47, 48, 54, 59, 60, 84, 104
— хроматическая 22, 37, 44, 46, 48, 49, 52, 54, 55, 59, 60, 63, 83, 109, 118
— кома 59, 84, 104, 106, 108, 109
— астигматизм 44, 54, 103, 104—106, 109, 110, 129
— дисторсия 104, 106, 110
— кривизна поля 103, 104—106, 129
— третьего порядка 103, 104, 105
Анастигмат 54, 110, 129, 130
Античные линзы 3
Апертометр 126, 127
Апертура 71, 119, 120, 123
— числовая 119, 120, 121, 122, 123, 126
Апохромат 124, 129
Астрономические инструменты 21, 23, 46, 74, 115, 116
Асферическая оптика 35, 46, 76
Асферические поверхности 35, 37, 46
— изготовление 37, 47
Афокальные системы 56
Ахроматическая оптика 46, 49, 50, 54, 55, 56, 57, 76, 84, 102, 148, 153
Батоскоп 68
Биноккулярное зрение 13, 129
Волновая теория света 44, 93, 118, 122
Вторичный спектр 129
Гелиоскоп 32
Гершеля опыты 90, 91, 92
Гершеля телескопы
— 10-футовый 88, 89
— 20-футовый 88, 89, 90
— 40-футовый 87
— системы Ньютона 89
Глаз 7, 10, 13, 15, 33
Горизонтоскоп 68
Диафрагма 22, 32, 101, 124
Двойное лучепреломление 96
Диоптрика 7, 30, 32, 33, 37, 38, 39, 43, 47, 58, 59, 60, 61
Дисперсия 49, 54, 55, 82, 123
Дифракционная решетка 82, 83
Дифракционное изображение 114, 118, 119
Дифракция 24, 37, 85, 93, 95, 118, 119
Зажигательные оптические инструменты 4, 7
— Архимеда 4, 5
— Ломоносова 64, 65, 66
— Чирнгауза 65
Закон преломления 7, 11, 35

- Зейделя суммы 104, 105
- Зеркало 8, 10, 75
 - вогнутое 11, 75, 86
 - коническое 15
 - Либеркюна 162
 - металлическое 4, 7, 52, 70, 86
 - параболическое 7, 11
 - плоское 15
 - стеклянное 52
 - сферическое 11, 15, 46, 48, 70
 - цилиндрическое 15
- Зеркальный телескоп 144, 145, 146, 147
 - Гершеля 52, 69, 145.
 - Грегори 69, 74, 147
 - Кассегрена 75
 - Ломоносова 69, 70
 - Ньютона 50, 51, 52, 69
 - Шорта 145, 146, 147
- Зрачок 101
 - входной 36, 59, 102
 - выходной 102
 - глаза 12, 13
- Зрительная труба 3, 8, 16, 28, 36, 47, 139, 141, 142, 143
 - бинокулярная 141
 - Галилея 15, 17, 20, 21, 22, 23, 139, 140
 - Кеплера 30, 31, 32, 140
 - раздвижная 71, 141
- Идеальная оптическая система** 99, 100, 101, 102, 117
- Измерительные приборы** 32
- Изображение оптическое** 11, 32, 40, 117, 118, 119
 - действительное 7, 12, 30, 32
 - мнимое 12
 - обратное 12, 16, 30, 31
 - прямое 16, 32
- Иммерсионная жидкость** 123, 128
- Иммерсионные системы** 123
- Интерференция** 24, 27, 82, 93, 95, 96
- Инфракрасное излучение** 90, 91, 92
- Инфракрасный диапазон спектра** 90, 91, 92
- Испытание оптических систем** 82, 114
- Источник света** 13, 14
- Камера-обскура** 10, 11, 12, 20, 30
- Кардинальные точки** 101
- Катадиоптрическая труба** 144
- Катоптрика** 7
- Кольца Ньютона** 27, 82
- Компенсатор** 128
- Конденсор** 37
- Контактный микрометр** 128
- Контраст изображения** 119
- Коррекция аберраций** 103, 104, 105, 107, 108, 130
- Кружок рассеяния** 118, 120
- Линза оптическая** 3, 9, 10, 24, 47
 - вогнутая 16, 19, 40, 134
 - выпуклая 16, 19, 40, 138
 - двояковыпуклая 31
 - отрицательная 31
 - положительная 30, 31
 - рассеивающая 16
 - собирающая 4, 16, 138
- Масляная лампа** 82
- Маячные системы** 97, 98
- Мениск** 55, 103
- Микроскоп** 3, 17, 44, 68
 - ахроматический 60, 61, 62, 63, 78, 79
 - зеркальный 52, 68
 - проекционный 163, 164, 165
 - простой 154, 156, 157, 158
 - сложный 23, 24, 37
 - солнечный 163, 164, 165, 166, 167

- Микроскоп конструкции
 - Адамса 162
 - Галилея 23, 24, 158
 - Гука 159
 - Кёльпепера 68, 159, 160
 - Кёффа 68, 161, 162
 - Левенгука 154
 - Эйлера 61, 78, 79
 - Эпинуса 62, 63
- Ночезрительная труба 65, 66
- Общая теория оптических систем 30, 44, 54, 58, 60
- Объект-микрометр 85, 126
- Объектив
 - анастигмат 54, 110, 130
 - апланат 83, 110, 121, 129
 - апохромат 124, 129
 - ахромат 55, 56, 57, 58, 62, 81, 83, 84, 102, 151
 - имерсионный 123, 128
 - микроскопа 62, 63
 - портретный 109, 110
 - телескопа 21, 22, 26, 28, 41, 123
 - фотографический 106, 108, 110
- Окуляр 22, 69
 - двухлинзовый 43
 - Гюйгенса 43, 44
 - Кампани 63
- Окулярный микрометр 70
- Оптика 3, 4, 7, 8, 9, 10, 15, 22, 44, 46, 86
 - асферическая 35, 37, 38
 - ахроматическая 46, 49, 50, 54, 55
 - геометрическая 10, 15, 32, 46, 67, 107, 119
 - прикладная 3, 4, 30, 31, 36, 46, 52, 54, 64, 85, 99, 117
 - физиологическая 10, 30
 - физическая 117
- Оптическая система 3, 40, 100
 - зрительной трубы 31, 32
 - микроскопа 119, 124, 158, 159, 161, 162
 - телескопа 20, 31
 - фотообъектива 106, 108, 109, 110
- Оптические мастерские 61, 75, 76
- Осветительные устройства 13, 124, 125
- Отражение света 5, 7, 8, 48, 50, 94
- Очки 3, 9, 10, 11, 13, 15, 22, 133, 134—135, 137, 138
- Параксиальные лучи 48, 100, 101
- Пассажный инструмент 143, 144
- Перископ 68
- Перспектива 18, 23
- Петцваля объектив 109, 110
- Петцваля сумма 104, 105, 106
- Плоскость Гаусса 99
- Показатель преломления 39, 49, 54, 56, 103, 127, 128
- Поле зрения
 - микроскопа 125
 - оптической системы 59
 - телескопа 21, 31, 36
 - фотообъектива 110
- Полемоскоп 69
- Поляризация света 95, 96
- Преломление света 5, 7, 15, 16, 30, 38, 48, 50, 52
- Преломляющая поверхность 5, 7, 32
- Призма 39, 54
 - Амичи 128
 - двойная 128
 - измерительная 52, 128
 - треугольная 52
- Пробное стекло 82
- Проектирование оптических систем 100, 101
- Проекция изображения 106, 164
- Просветление оптики 130

Простые микроскопы 154, 155,
157, 158
— Левенгука 154, 156
— Либеркюна 154, 156, 157, 158
— Мушенбрека 154

Разрешающая способность 119,
123
— микроскопа 118, 119, 122, 123
— оптической системы 117, 118
— телескопа 21

Рефлектор
— Гершеля 69, 86, 87, 89, 90
— Ломоносова 69, 70, 87
— Ньютона 69, 86, 87
— Шорта 145, 146, 147
Рефрактометр 127, 128
Рисовальный прибор 126

Светорассеяние 124

Солнечные микроскопы
— Адамса 162, 163, 166
— Доллонда 162, 164, 165
— Кёффа 164
— Либеркюна 154, 155, 156,
157, 158
— Мартина 162, 163, 164
— Цейгера 163, 164
— Эйлера 163, 166

Спектр
— инфракрасный 90, 92
— оптический 52
— солнечный 52, 82, 85, 90, 91

Спектральный анализ 52

Спектроскоп 52, 85

Станок
— шлифовальный 10, 42, 43,
47, 79, 112
— полировальный 42, 43, 46,
50, 81

Стекло оптическое 37, 56, 71
— флинтглас 56, 58, 61, 81, 130
— кронглас 56, 58, 61, 81, 130

Стеклоянно-водяной объектив
47, 49, 55

Стереоскоп 13

Сферометр 82, 128

Телескоп 3, 8, 13, 14, 16, 17, 18,
28

— рефлектор 50, 51, 52, 87, 89,
145, 147

— рефрактор 21, 43, 113, 148—
153

Тепловое излучение 90, 91, 92

Тест — объекты 107

Технология

— изготовления линз 10, 23,
37, 46, 47, 48, 78

— полировки зеркал 10, 50, 51, 52

Увеличение 101

— линзы 101

— микроскопа 63, 118, 126

— оптического прибора 126

— продольное 101

— телескопа 21, 22, 23, 36, 46

— угловое 101

Условие Петцваля 106

Условие синусов 59, 60, 84,
107, 121

Фокометр 125, 126

Фонарь 77

— катадиоптрический 99

Формула

— Гаусса 99, 101

— линзы 40

— Манжена 5

Фотографический объектив 108

— анастигмат 54, 110, 130

— апланат 110

— апохромат 124, 129

— портретный 109

— «протар» 110, 130

— «планар» 130, 131

— «тессар» 110, 130, 131

— «триплет» 110

Фотокамера 108, 109

Фотометр

— Ломоносова 70, 71

— окулярный 85

Фотометрия 13, 14, 71

Фотометрия оптических систем
10, 13

Френкеля линза 96, 97

Центрированная оптическая система 59, 145

Центрировка линз 37, 61, 120

Широкоугольный объектив 110

Шлифование линз 10, 24, 37, 43,
47, 61, 73, 75, 110, 112

Электромагнитный телеграф 100

Электронный микроскоп 122

Эйконал 107

Яркость изображения 118

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Творцы прикладной оптики	
Леонардо да Винчи, его предшественники и по- следователи	4
Галилео Галилей	17
Эванджелиста Торричелли	24
Иоганн Кеплер	28
Рене Декарт	33
Христиан Гюйгенс	38
Исаак Ньютон	44
Леонард Эйлер	52
Михаил Васильевич Ломоносов	63
Иван Петрович Кулибин	72
Йозеф Фраунгофер	79
Вильям Гершель	85
Огюстен Жан Френель	93
Карл Фридрих Гаусс	99
Развитие теории аберраций оптических систем в трудах ученых XIX в.	102
Алван Кларк	110
Эрнст Аббе	116
Пауль Рудольф	129

Глава 2. Оптические приборы XVII—XVIII вв. в музеях СССР

Очки	133
Зрительные трубы и телескопы	139
Микроскопы	154
Заключение	168
Литература	170
Именной указатель	177
Предметный указатель	181

Гуриков
Владимир Александрович

**СТАНОВЛЕНИЕ
ПРИКЛАДНОЙ ОПТИКИ
XV—XIX вв.**

Утверждено к печати
редколлегией научно-популярной серии
Академии наук СССР

Редактор издательства В. П. Лишевский
Художник С. Б. Воробьев
Художественный редактор Н. А. Фильчагина
Технический редактор Т. С. Жарикова
Корректоры Р. З. Землянская, Н. И. Казарина

ИБ № 27369

Сдано в набор 17.05.83.
Подписано к печати 05.09.83.
Т-15135. Формат $84 \times 108^{2/3}_2$
Бумага для глубокой печати
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 10
Усл. кр.-отт. 10,4. Тираж 9000 экз.
Тип. зак. 419. Цена 70 коп.

Издательство «Наука»
117864 ГСП-7, Москва В-485
Профсоюзная ул., 90.

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая типография издательства «Наука»
199034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА»

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ КНИГИ

А. Н. Боголюбов. Роберт Гук. 1635—1703. 12 л. 84 к.

Книга посвящена жизни и деятельности выдающегося английского естествоиспытателя, члена Лондонского королевского общества Роберта Гука.

Разносторонний ученый и изобретатель, Роберт Гук построил воздушный насос, установил (совместно с Гюйгенсом) постоянные точки термометра — таяния льда и кипения воды, усовершенствовал барометр, зеркальный телескоп и микроскоп, сформулировал носящий его имя закон пропорциональности между силой, приложенной к телу, и его деформацией.

Книга рассчитана на всех, интересующихся историей науки и техники.

В. Л. Гвоздецкий. Иван Яковлевич Конфедератов. 1902—1975. 10 л. 70 к.

Книга посвящена жизни и деятельности Ивана Яковлевича Конфедератова, ученого, педагога, инженера-изобретателя. Он является автором фундаментальных трудов по истории энергетики, теории и методологии истории техники. Значителен вклад И. Я. Конфедератова в постановку и исследование проблем педагогики высшей технической школы. Жизненный путь ученого рассматривается в неразрывной связи с эпохой, в которой он жил, с социально-политическими и научно-техническими событиями, происходившими в стране.

Издание предназначено всем, интересующимся историей науки и техники.

А. А. Космодемьянский. Николай Егорович Жуковский. 1847—1921. 14 л. 98 к.

В книге описана жизнь и научная деятельность «отца русской авиации» Николая Егоровича Жуковского. Основное внимание уделено главному в научно-теоретическом творчестве ученого — гидро- и аэродинамике и теории полета аэропланов. Освещена также его педагогическая деятельность в МГУ и МВТУ, показаны важнейшие достижения учеников Н. Е. Жуковского.

Книга адресована читателям, интересующимся историей отечественной науки и техники.

Крючков Ю. С. Алексей Самуилович Грейг. 1775—1845. 7 л. 49 к.

В книге, посвященной жизни и деятельности почетного академика и адмирала А. С. Грейга, рассказывается о воен-

ной, флотоводческой, научной и инженерной деятельности этого разностороннего человека. А. С. Грейг был членом нескольких научных обществ России и Европы. С его именем связано развитие теории и практики кораблестроения первой половины XIX в., строительство Николаевской и Пулковской обсерваторий, организация гидрографических исследований и работ на Черном море.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся историей отечественной науки и техники, а также морского дела.

В. А. Никифоровский. Математика в трудах Бернулли. 10 л. 70 к.

Семья Бернулли дала миру много известных математиков, особенно выдающимися были братья Якоб (1654—1705) и Иоганн (1667—1748) и сын последнего Даниил (1700—1782). В книге рассказывается о жизни и научной деятельности этих трех великих математиков. Показан их вклад в классический анализ, дифференциальные уравнения, теорию вероятностей, вариационное исчисление и другие разделы математики.

Книга предназначена читателям, интересующимся историей математики.

Б. Н. Фрадлин. Юрий Дмитриевич Соколов. 1896—1971. 6 л. 42 к.

Книга посвящена жизни и научной деятельности известного советского ученого, члена-корреспондента АН СССР Ю. Д. Соколова, труды которого относятся к важнейшим проблемам современной механики — задаче многих тел, механике шахтных канатов, теории фильтрации грунтовых вод, приближенным методам решения функциональных уравнений и др.

Книга адресована читателям, интересующимся развитием современной математики и механики.

**ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КНИГ ПОЧТОЙ ЗАКАЗЫ ПРОСИМ НАПРАВЛЯТЬ
ПО АДРЕСУ:**

- 117192 Москва, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга — почтой»
Центральной конторы «Академкнига»;
197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7, магазин «Книга — почтой»
Северо-Западной конторы «Академкнига»

или в ближайший магазин «Академкнига», имеющий отдел
«Книга — почтой».

480091 Алма-Ата, ул. Фурманова,
91/97 («Книга — почтой»);
370005 Баку, ул. Джапаридзе, 13
(«Книга — почтой»);
320093 Днепропетровск, проспект
Гагарина, 24 («Книга — почтой»);
734001 Душанбе, проспект Ленина,
95 («Книга — почтой»);
375002 Ереван, ул. Туманяна, 31;
664033 Иркутск, ул. Лермонтова,
289;
252030 Киев, ул. Ленина, 42;
252030 Киев, ул. Пирогова, 2;
252142 Киев, проспект Вернад-
ского, 79;
252030 Киев, ул. Пирогова, 4
(«Книга — почтой»);
277012 Кишинев, проспект Ле-
нина, 148 («Книга — почтой»);
343900 Краматорск Донецкой обл.,
ул. Марата, 1;
660049 Красноярск, проспект
Мира, 84;
443002 Куйбышев, проспект Ле-
нина, 2 («Книга — почтой»);
191104 Ленинград, Литейный
проспект, 57;
199164 Ленинград, Таможенный
пер., 2;
196034 Ленинград, В/О 9 линия, 16;

220012 Минск, Ленинский про-
спект, 72 («Книга — почтой»);
103009 Москва, ул. Горького, 19а;
117312 Москва, ул. Вавилова,
55/7;
630076 Новосибирск, Красный
проспект, 51;
630090 Новосибирск, Академго-
родок, Морской проспект, 22
(«Книга — почтой»);
142292 Пущино, Московская обл.,
МР, «В», 1;
620151 Свердловск, ул. Мамина-
Сибиряка, 137 («Книга — поч-
той»);
700029 Ташкент, ул. Ленина, 73;
700100 Ташкент, ул. Шота Руста-
вели, 43;
700187 Ташкент, ул. Дружбы
народов, 6 («Книга — почтой»);
634050 Томск, наб. реки Ушай-
ки, 18;
450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10
(«Книга — почтой»);
450025 Уфа, ул. Коммунистиче-
ская, 49;
720001 Фрунзе, бульвар Дзержин-
ского, 42 («Книга — почтой»);
310078 Харьков, ул. Чернышев-
ского, 87 («Книга — почтой»).

70 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«НАУКА»
ГОТОВИТСЯ
К ПЕЧАТИ
КНИГА:

Оптическая голография.

8 л. 85 к.

В книге приведены оригинальные исследования, выполненные ведущими специалистами в области голографии. Среди актуальных проблем оптической голографии основное внимание уделено трехмерной голографии и вопросам преобразования волновых фронтов. Для научных работников и инженеров, занимающихся голографией и ее применениями.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов

магазинов «Книга — почтой» «Академкнига»:

480091 Алма-Ата, 91, ул. Фурманова, 91/97; 370005 Баку, 5, ул. Дзепаридзе, 13; 320093 Днепропетровск, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 252030 Киев, ул. Пирогова, 4; 277012 Кишинев, проспект Ленина, 148; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7; 220012 Минск, Ленинский проспект, 72; 117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6; 450059 Уфа, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87.

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА