**Рефракторы XIX столетия**

Потребовалось около века, чтобы убедиться в ошибочности утверждения Ньютона о том, что создать ахроматический объектив невозможно. В 1729 г. был изготовлен объектив из двух линз разного стекла, позволивший уменьшить хроматическую аберрацию. А в 1747 г. великий математик Леонард Эйлер рассчитал объектив, состоящий из двух стеклянных менисков (оптическое стекло, выпуклое с одной стороны и вогнутое с другой), пространство между которыми заполнено водой - совсем как в "Таинственном острове" Жюля Верна. Он должен был строить изображения, лишённые цветовой каймы.

Английский оптик Джон Дол-лонд вместе с сыном Питером предпринял серию опытов с призмами из известного со времён Галилея венецианского стекла (крона) и нового английского сорта стекла - флинтгласа, обладавшего сильным блеском и применявшегося для изготовления украшений и бокалов. Выяснилось, что из этих двух сортов можно составить объектив, не дающий цветовой каймы: из крона следует лжЛ сделать положительную линзу, а из флинтгласа - несколько более слабую отрицательную. Началось массовое производство Доллондовых труб.

Ахроматическими телескопами занималась вся Европа. Эйлер, ДАлам-бер, Клеро и Гаусс продолжали их расчёт; несколько лондонских оптиков оспаривали в суде взятый Доллондами патент на ахроматический объектив, но успеха не добились. Питер Доллонд разработал уже трёхлинзовый ахромат, по мнению астрономов, очень хороший; иезуитский профессор Руджер Бошко-вич в Падуе придумал специальный прибор - витрометр (от лат. vitrum - "стекло") для точного определения показателей преломления оптических стёкол. В 1780 г. Доллонды начали серийный выпуск нескольких типов армейского телескопа со складной трубой. Когда Джон Доллонд выдавал свою дочь замуж (разумеется, за оптика), её приданым служила часть патента на ахроматический объектив.

Научный метод изготовления линзовых объективов был введён в практику немецким оптиком Йозефом Фраунгофером. Он наладил контроль поверхностей линз по так называемым цветным кольцам Ньютона, разработал механические приборы для контроля линз (сферометры) и проанализировал расчёты Доллонда. Он начал измерять показатели преломления с помощью света натриевой лампы и заодно изучил спектр Солнца, найдя в нём множество тёмных линий, которые до сих пор называют фраунгоферовыми.

24-сантиметровый объектив для Дерптского рефрактора (Дерпт - ранее Юрьев, ныне Тарту, Эстония), изготовленный Фраунгофером, был прекрасно скорректирован по хроматической и сферической аберрациям; этот телескоп долгое время оставался крупнейшим в мире. Монтаж телескопа в Дерпте вёлся под руководством Василия Струве (впоследствии - основателя и директора Пулковской обсерватории).

Дерптский рефрактор оказался невероятно удачным прибором. С его помощью Струве измерил расстояние до ярчайшей звезды северного полушария неба - Веги; оно оказалось огромным: около 26 световых лет. Конструкцию этого телескопа повторяли в течение всего XIX в.; небольшие телескопы делают по его образцу и сейчас.

**Телескопы первого поколения**

К середине XIX в. Фраунгоферов рефрактор стал основным инструментом наблюдательной астрономии. Высокое качество оптики, удобная монтировка, часовой механизм, позволяющий держать телескоп постоянно наведённым на звезду, стабильность, отсутствие необходимости непрерывно что-то подстраивать и регулировать завоевали заслуженное признание даже самых требовательных наблюдателей. Казалось бы, будущее рефракторов должно быть безоблачным. Однако наиболее проницательные астрономы уже поняли три главных их недостатка: это всё же заметный хроматизм, невозможность изготовить объектив очень большого диаметра и довольно значительная длина трубы по сравнению с кассегренов-ским рефлектором того же фокуса.

Хроматизм стал более заметным, потому что расширилась спектральная область, в которой велись исследования небесных объектов. Фотографические пластинки тех лет были чувствительны к фиолетовым и ультрафиолетовым лучам и не чувствовали видимую глазом сине-зелёную область, для которой ахроматизировали объективы рефракторов. Приходилось строить двойные телескопы, в которых одна труба несла объектив для фотографических наблюдений, другая - для визуальных.

Кроме того, объектив рефрактора работал всей своей поверхностью, и в отличие от зеркала под него нельзя было подвести с задней стороны рычаги, уменьшающие его прогиб, а на зеркальных телескопах такие рычаги (система разгрузок) применялись с самого начала. Поэтому рефракторы остановились на диаметре около 1 м, а рефлекторы позднее дошли до 6 м, и это не предел.

Как всегда, появлению новых рефлекторов способствовало развитие техники. В середине XIX столетия немецкий химик Юстус Либих предложил простой химический метод серебрения стеклянных поверхностей. Это позволило изготовлять зеркала из стекла. Оно лучше полируется, чем металл, и значительно легче его. Стекловары также усовершенствовали свои методы, и можно было смело говорить о заготовках диаметром около 1 м.

Оставалось разработать научно обоснованный метод контроля вогнутых зеркал, что и сделал в конце 50-х гг. XIX в. французский физик Жан Бернар Леон Фуко, изобретатель общеизвестного маятника. Он помещал в центр кривизны испытываемого сферического зеркала точечный источник света и загораживал его изображение ножом. Глядя, с какой стороны при движении ножа перпендикулярно оси зеркала на нём появляется тень, можно установить нож точно в фокусе, а затем очень ясно увидеть неоднородности и ошибки поверхности. Таким методом можно исследовать и рефракторы: точечным источником служит звезда. Чувствительный и наглядный, метод Фуко применяется и сейчас как любителями, так и профессионалами.

Фуко изготовил по своей методике два телескопа с длиной трубы 3,3 м и диаметром 80 см. Стало ясно, что у рефракторов Фраунгофера появился грозный конкурент.

В 1879 г. в Англии оптик Коммон изготовил вогнутое стеклянное параболическое зеркало диаметром 91 см. При его изготовлении использовались научные методы контроля. Зеркало приобрёл богатый любитель астрономии Кросслей, который смонтировал его в телескопе. Однако этот инструмент не устроил своего владельца, и в 1894 г. Кросслей объявил о его продаже. Приобрести его, правда бесплатно, согласилась организованная в Калифорнии Ликская обсерватория.

Кросслеевский рефлектор попал в хорошие руки. Астрономы стремились получить от него максимум возможного: новый телескоп применялся для фотографирования астрономических объектов; с его помощью было обнаружено множество неизвестных ранее внегалактических туманностей, похожих на туманность Андромеды, но меньшего углового размера. Стеклянный рефлектор первого поколения показал себя эффективным.

Следующий телескоп такого типа был построен уже на американской земле - также в Калифорнии, на вновь созданной солнечной обсерватории Маунт-Вилсон. Заготовку для зеркала диаметром 1,5 м отлили во Франции; ее обработка велась на обсерватории, а механические части были заказаны в ближайшем железнодорожном депо.

Как можно судить по документам, полную ответственность за новый телескоп нёс один человек - оптик Джордж Ричи. Он был, выражаясь современным языком, главным конструктором этого прибора. Основными усовершенствованиями являлись очень хороший часовой механизм, новая система подшипников, устройство для быстрой подвижки фотокассеты в двух направлениях и меры по выравниванию температуры вблизи главного зеркала, чтобы предохранить его форму от искажения из-за теплового расширения. Ричи сам фотографировал небо; время экспозиции доходило до 20 ч (на день кассету с фотопластинкой убирали в тёмное помещение).

Результаты не заставили себя ждать: великолепные снимки Ричи до сих пор публикуются в учебниках и популярных изданиях.

Следующий, уже 2,5-метровый рефлектор начал работать в Маунт-Вилсон в 1918г. Все усовершенствования предшественника и опыт его эксплуатации были использованы при конструировании гигантского по тем временам инструмента.Новый телескоп бьш эффективнее предыдущего в том смысле, что на нём обычный, не искушённый в обращении с телескопами астроном мог без труда фотографировать такие же слабые звёзды, какие получались на 1,5-метровом в качестве рекордных. А в руках мастера своего дела этот телескоп позволил сделать открытие мирового класса.

В начале XX в. расстояние до ближайших галактик являлось для астрономов такой же загадкой, как расстояние от Земли до Солнца в начале XVII в. Известны работы, в которых утверждалось, что туманность Андромеды находится в нашей Галактике. Теоретики благоразумно помалкивали; тем временем уже был разработан надёжный метод определения расстояний до далёких звёздных систем по переменным звёздам.

Осенью 1923 г. в туманности Андромеды открыли первую переменную звезду нужного типа - цефеиду. Вскоре их число увеличилось до десяти в разных галактиках. Удалось определить периоды этих переменных, а по ним - расстояния до других галактик.

Измерение расстояний до нескольких внегалактических туманностей позволило установить, что чем дальше расположена галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется.

1,5- и 2,5-метровый рефлекторы долго служили верой и правдой наблюдательной астрономии; сейчас они выведены из эксплуатации из-за засветки неба мегаполисом Лос-Анджелеса.

Перечислим основные особенности современных телескопов первого поколения.

Во-первых, главные зеркала их имеют строго параболическую форму. Они изготовлены из стекла типа зеркального со значительным коэффициентом теплового расширения (что является недостатком, поскольку форма зеркала искажается из-за неодинаковой температуры различных его частей) и выглядят как сплошной цилиндр с отношением толщины к диаметру приблизительно 1:7.

Во-вторых, конструкция их трубы выполнена по принципу максимальной жёсткости. Укреплённые в ней главное и вторичное зеркала должны находиться на одной оси в пределах ошибок, заданных при расчёте оптики. Если этого нет, то качество телескопа непременно ухудшается, поэтому конструкцию трубы телескопа рассчитывают так, чтобы в любом положении гнутие трубы было меньше заданного оптиками допуска. Естественно, такая труба достаточно массивна.

Подшипники телескопа - скольжения или шариковые. У первых двух телескопов нагрузку на них уменьшают поплавки, на которых телескоп почти плавает в ртутных ваннах.

**Создание телескопов второго поколения**

Итак, 2,5-метровый телескоп заработал и дал прекрасные научные результаты, а коллектив, сложившийся вокруг него на обсерватории Маунт-Вилсон, смело смотрел в будущее и обсуждал возможность создания более крупного инструмента. При этом называли диаметр 5 и даже 7,5 м. Заслугой руководителя обсерватории Дж. Хейла является то, что он уберёг своих сотрудников от ненужного стремления ко всё большим размерам и ограничил диаметр нового прибора пятью метрами. Кроме того, он достал (и это в условиях надвигающегося экономического кризиса 1929- 1933 гг.) значительную сумму, позволившую начать работы.

Зеркало сплошным делать было нельзя: его масса при этом составила бы 40 т, что чрезмерно утяжелило бы конструкцию трубы и других частей телескопа. Его также нельзя было делать из зеркального стекла, ведь с подобными зеркалами наблюдатели уже намучились: при перемене погоды и даже при смене дня и ночи форма зеркала искажалась, и оно чрезвычайно медленно "приходило в себя". Конструкторы хотели изготовить зеркало из кварца, у которого коэффициент теплового расширения в 15 раз меньше, чем у стекла, но этого сделать не удалось.

Пришлось остановиться на пирексе - разновидности жаропрочного стекла, разработанного для производства прозрачных сковород и кастрюль. Выигрыш в коэффициенте расширения составил 2,5 раза. В 1936 г. со второй попытки зеркало удалось отлить; на тыльной стороне оно имело ребристую структуру, что облегчило массу до 15 т и улучшило условия теплообмена. Обработка зеркала велась на обсерватории; на время Второй мировой войны она была приостановлена и закончилась в 1947 г. В конце 1949 г. 5-метровый телескоп вступил в строй:

Как и в рефлекторах первого поколения, форма его главного зеркала была параболической, наблюдения могли вестись в ньютоновском, кассегреновском, прямом или ломаном фокусах. Последний не перемещается при движении телескопа, и в нём можно устанавливать тяжёлое неподвижное оборудование, например большой спектрограф.

В конструкцию трубы 5-метрового рефлектора были внесены кардинальные изменения: она перестала быть жёсткой. Инженеры разрешили её концам гнуться относительно центра при условии, что оптические детали не будут смещаться друг относительно друга. Конструкция оказалась удачной и до сих пор используется во всех без исключения ночных телескопах.

Пришлось также изменить конструкцию подшипников телескопа. 5-метровый телескоп "плавает" на тонком слое масла, нагнетаемого компрессором в пространство между осью и её подшипниками. Такая система не имеет трения покоя и позволяет инструменту вращаться точно и плавно.

Одним из важнейших результатов работы 5-метрового рефлектора обсерватории Маунт-Вилсон стало достоверное доказательство того факта, что источником энергии звёзд являются термоядерные реакции в их недрах. Настоящий информационный взрыв в области исследования галактик также в значительной степени обязан наблюдениям на этом телескопе.

Телескопов второго поколения было изготовлено множество; характерным представителем их является рефлектор диаметром 2,6 м Крымской обсерватории.

Несколько слов о телескопостроении в нашей стране. В 30-х гг. сложилось эффективное сотрудничество между астрономами и создателями телескопов, но ни на одной обсерватории они не были объединены - это произошло позднее. Планировалось изготовить 81-сантиметровый рефрактор, рефлекторы диаметром 100 и 150 см и многочисленное вспомогательное оборудование. Великая Отечественная война помешала полностью осуществить эту программу, и первая серия телескопов небольшого диаметра (до 1 м) появилась в СССР только в 50-е гг. Затем были сооружены два рефлектора диаметром 2,6 м и 6-метровый телескоп. Практически во всех южных республиках СССР были созданы новые или получили значительное развитие уже имевшиеся там обсерватории.

**Разработка рефлекторов третьего и четвертого поколения**

Работа на рефлекторах второго поколения показала, что 3-метровый телескоп с высококачественной оптикой, установленный в пункте со спокойной атмосферой, может оказаться эффективнее 5-метрового, работающего в более плохих условиях. Это было учтено при разработке рефлекторов третьего поколения.

Конструирование нового телескопа отличается от работ по созданию других видов техники. Современный самолёт испытывается много лет в виде опытных образцов и лишь потом идёт в серийное производство.

Сейчас крупный телескоп стоит примерно столько же, сколько самолёт, но у астрономов, к сожалению, не бывает денег на опытный образец. Его заменяют тщательное изучение имеющихся инструментов и частые обсуждения проектов. Обычно первыми строятся один-два инструмента серии; накопленный при этом опыт чрезвычайно ценен. Если инструмент очень велик и дорог, всё же строится опытный экземпляр меньшего размера.

Основной особенностью телескопов третьего поколения является главное зеркало диаметром 3,5-4 м гиперболической (а не параболической) формы, изготовленное из новых материалов: плавленого кварца или ситаллов - стеклокерамики с практически нулевым тепловым расширением, разработанной в СССР в 60-е гг. Применение в кассегреновской конфигурации главного гиперболического зеркала позволяет значительно расширить поле хороших изображений; расчёт этой системы был выполнен в 20-е гг. Телескопы третьего поколения стремятся устанавливать в местах, специально выбранных по спокойствию атмосферы. Подобных телескопов в настоящее время построено довольно много; считается, что это инструмент университетского класса.

6-метровый телескоп, вошедший в строй в 1975 г., хотя и относится ко второму поколению, но в его конструкцию было внесено одно кардинальное изменение. Телескопы предыдущих поколений устанавливались экваториально. Они сопровождали наблюдаемую звезду, поворачиваясь со скоростью одного оборота в звёздные сутки вокруг оси, направленной на полюс мира. По второй координате объекта - склонению - телескоп устанавливается до начала фотографирования и вокруг этой оси больше не вращается.

Ещё до Второй мировой войны отечественный конструктор астрономических приборов Н. Г. Пономарёв обратил внимание на то, что труба телескопа и вся его конструкция будут значительно легче, а значит, и дешевле, если перейти от экваториальной к азимутальной установке, т. е. если телескоп будет вращаться вокруг трёх осей - оси азимута, оси высоты и оптической оси (там можно вращать только кассету с фотопластинкой).

Эта идея и была осуществлена в 6-метровом телескопе, получившем название БТА (Большой телескоп азимутальный). Он установлен в астрофизической обсерватории на Северном Кавказе, вблизи станицы Зеленчукской.

Азимутальная монтировка используется во всех без исключения телескопах четвёртого поколения. Кроме этого новшества для них характерно исключительно тонкое зеркало, форма которого подстраивается с помощью ЭВМ после автоматического анализа оптической системы по изображению звезды. Строится более десяти инструментов такого типа диаметром более 8 м, и уже работает их модель диаметром 4 м. Трудно даже представить, какие новые открытия они принесут астрономии.