

НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

6 / 1974

СЕРИЯ
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

П. В. Щеглов
СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕЛЕСКОПЫ—
ИХ ВОЗМОЖНОСТИ
И ПЕРСПЕКТИВЫ



П. В. Щеглов,

доктор физико-математических наук

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ — ИХ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва 1974

Щеглов П. В.

Щ 33 Современные телескопы — их возможности и перспективы. М., «Знание», 1974.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Космонавтика, астрономия», 6. Издается ежемесячно с 1971 г.).

На примере старейшей отрасли астрономии — наземных оптических наблюдений — показано стремительное развитие астрономии в наши дни. Взаимно дополняя друг друга, ракетная, наземная и радиоастрономия проникают своим взором все дальше в глубины Вселенной. История развития нескольких обсерваторий показывает решающую роль высококачественных крупных телескопов для прогресса наземной астрономии и развития астрономической науки вообще.

20601

52

НАЗЕМНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Коперник был астрономом, врачом и государственным деятелем, Леонардо да Винчи — механиком, физиком, художником и инженером, Галилей — оптиком, астрономом и механиком. Эпоха Возрождения «нуждалась в титанах и... породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учености... Тогда не было почти ни одного крупного человека, который не совершил бы далеких путешествий, не говорил бы на четырех-пяти языках, не блистал бы в нескольких областях творчества»¹. Дальнейшее развитие науки сопровождалось специализацией. В последнее время положение изменилось, в последнее время стали развиваться связи между весьма и весьма удаленными друг от друга областями знания — так, прочно обосновавшись в точных науках, кибернетика проникает в медицину, лингвистику и управление производством, физика твердого тела произвела переворот в электронике, космические исследования помогают сельскому хозяйству и рыболовству, а физика опять, как во времена Ньютона, обратилась к астрономии. Всемирно известный специалист по управляемым термоядерным реакциям Л. А. Арцимович незадолго до своей смерти писал: «По-видимому, можно сказать, что началась новая эра в развитии науки, в которой астрофизике будет принадлежать ключевое по-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд. М., 1961, стр. 346.

ложение... Кажущееся спокойствие Вселенной исчезло, и мы стали свидетелями множества драматических событий, происходящих в звездах и галактиках. Быстро вращающиеся звезды гигантской плотности с пульсирующим радиоизлучением, таинственные квазары, взрывающиеся звезды и взрывающиеся галактики оказались нормальными элементами эволюции материального мира. И еще один недавно открытый элемент этой эволюции, возможный отголосок далекого прошлого — холодные волны деградирующего излучения, в которых купается космос. Сейчас это излучение принято рассматривать, как свидетельство первичного взрыва, положившего начало всему нынешнему звездному великолепию»¹.

Не будет преувеличением сказать, что астрономия интересует каждого образованного человека. Мальчик 13—14 лет делает из очковых стекол свой первый телескоп, с восхищением повторяя открытия Галилея. Жизненный путь обычно уводит его из сферы астрономических интересов (на земном шаре в настоящее время работают не более 3—4 тыс. астрономов), но интерес к тайнам мироздания и отдаленное воспоминание о собственных наблюдениях у него остается.

Современные физики интересуются астрономией далеко не платонически. Как и раньше, космос представляет им богатые возможности наблюдать вещество в экстремальных состояниях — сверхразреженном и сверхплотном, при температурах в несколько градусов и несколько десятков миллионов градусов абсолютной температуры. Поэтому они с интересом относятся к выводам астрономов и активно используют их в своих исследованиях. То, что Солнце не погасло в течение нескольких миллиардов лет, стимулировало разработку теории ядерных превращений, результаты применения которой хорошо известны каждому. То, что плазму любой температуры можно изолировать в магнитной ловушке, хорошо и давно известно каждому исследователю Солнца. И так как в настоящее время научные идеи представляют совершенно реальную силу, фундаментальные исследования в области астрономии приобретают все более широкие масштабы.

Астрономы находятся на пути между созерцаю-

¹ «Природа», 1972, № 9, стр. 2.

щим звездное небо человеком и физиком, размышляющим о том, почему плотность той или иной звезды в миллион раз больше солнечной. Наблюдая небесные объекты, астроном узнает, не выходя из своей обсерватории, очень многое о химическом составе, температуре, скоростях движения вещества в космических объектах. Для этого он не может пользоваться ничем другим, кроме электромагнитного излучения изучаемых объектов, воспринимаемого радиоантеннами, оптическими телескопами и установленными на спутниках устройствами. Современный астроном, интерпретируя наблюдения, совершенно равноправно пользуется данными о любом участке спектра изучаемого объекта — от γ -лучей до километровых радиоволн; результаты различных диапазонов отнюдь не исключают друг друга — они немыслимы один без другого.

В этой брошюре мы остановимся на развитии самой старой и привычной для широкой публики отрасли науки о небе — наземной оптической астрономии. Не преувеличивая, можно сказать, что в настоящее время, после начала освоения космоса, эта классическая область наблюдательной астрономии переживает свое второе рождение. Не следует, однако, думать, что это связано только с наблюдением искусственных небесных тел или с обеспечением оптическими данными ультрафиолетовых и рентгеновских работ, выполняемых с борта ИСЗ,—эти работы, разумеется, ведутся. Космическая эра привлекла широкое внимание к астрономии вообще, к возможности путем не очень сложных (значительно меньших, чем при запуске ИСЗ) разработок и исследований проникнуть своим взглядом значительно дальше, чем мы видели до сих пор.

Поэтому мы остановимся, сначала несколько углубившись в историю, на методах современной наземной оптической астрономии, на ее достижениях и перспективах.

Основным орудием современного наземного оптического астронома-наблюдателя является крупный высококачественный рефлектор. Участь вновь построенного телескопа такого рода зависит, однако, от многих обстоятельств. Прежде всего огромную роль играет его происхождение и биография. Ведь постройку телескопа задумывают задолго, лет за 10 до появления на свет, и тут

очень важно, чтобы проектом инструмента занялись люди, могущие предвидеть тенденцию развития наблюдательной астрономии и астроприборостроения на столь долгий срок вперед. И тут хороший проектировщик телескопа должен буквально балансировать на лезвии ножа.

Предположим, что он запланирует изготовление зеркала телескопа — основной его детали — из экзотического материала, об изобретении которого он лишь недавно узнал. Пусть этот материал обещает очень много в смысле термической стабильности оптической системы телескопа и позволит получить изображения исключительно высокого качества, небывалой резкости. Но может оказаться, что стекловары еще не освоили достаточно хорошо этот новый материал и им не удастся отлить заготовку нужного диаметра. Тогда приходится делать шаг назад, вернувшись к хорошо проверенному материалу, который не так уж хорош, но осуществим. Можно рассчитать совершенно новый вариант оптической системы, обещающий, скажем, большое поле хороших изображений (всякий астроном хочет видеть свой новый телескоп как можно более широкоугольным), но оптики окажутся не в состоянии изготовить зеркала, соответствующие этим расчетам, — их квалификация для этого недостаточна. Можно, наконец, запланировать телескоп, значительно превышающий по диаметру своего предшественника, и натолкнуться на совершенно непреодолимые трудности в его изготовлении.

Сколь же велико будет разочарование астрономов и изготовителей, когда выяснится, что телескопы конкурента (а астрономические обсерватории соревнуются в создании новых высокоэффективных инструментов почти официально) используют оптику из нового материала, рассчитаны по новой схеме и, несмотря на это, успешно работают, давая новые, недостижимые ранее результаты! Разумеется, и для плохого телескопа найдется работа; в астрономии такое количество самых разнообразных объектов, что даже сейчас можно делать вполне серьезные научные исследования, систематически наблюдая, например, переменные звезды в хороший морской бинокль.

Однако граница наших знаний всегда проходила и

проходит по слабым объектам, наблюдение которых весьма затруднительно.

Далее, качество только что построенного телескопа, даже если его оптика и механика достаточно хороши, может быть безнадежно испорчено установкой его в недостаточно тщательно выбранном месте. При наблюдении слабых звезд их изображения окажутся настолько размытыми атмосферными искажениями, что их просто не будет видно. Но даже в хорошем пункте, на горной вершине, можно испортить все дело, поместив телескоп в башне, которая создаст вокруг себя исключительно неоднородную в оптическом отношении атмосферу.

Телескоп в много миллионов рублей или долларов может вдвое-втрое потерять эффективность, если фотографирование на нем будет вестись не на нужном сорте фотопластинок или если его электронные приборы не обновлялись, скажем, в течение пяти лет.

И, наконец, колоссальное значение имеет квалификация коллектива, работающего с новым инструментом, его научные интересы, атмосфера — хороший телескоп позволяет ставить новые задачи, стимулирует появление новых ученых и повышение квалификации уже работающих на нем астрономов — тому имеется множество примеров. Таким образом, хотя строительство новых телескопов и стоит прочно на технологическом фундаменте своего времени, в нем очень сильны элементы комплексности, системного подхода, предвидения и в какой-то степени интуиции; это настоящий творческий процесс. Впрочем, ни одно новое дело — не только в науке, но и в технике, искусстве, медицине — не может быть сделано лишенным вдохновения рутинером. Вот почему сложной научно-технической проблемой строительства новых телескопов астрономы занимаются обычно сами, не доверяя ее на 100% даже кажущимся вполне уважаемыми и компетентными оптическим фирмам. Хотя телескоп и выглядит на первый взгляд как огромная грубая машина, его следует на самом деле считать сложным, чувствительным и точным прибором. При его изготовлении выполнение отдельных требований немислимо без умения, мастерства и таланта.

Крупный телескоп не покупается, как, скажем, автомашина или осциллограф. Это — сделанная на заказ и непрерывно совершенствующаяся вещь для конкретных

нужд определенной программы. Именно поэтому каждая обсерватория, занимающаяся строительством новых телескопов, выращивает у себя кадры астрономов, разбирающихся в инструментальных проблемах и способных активно их разрабатывать. История современной астрофизики говорит, впрочем, еще об одном весьма важном обстоятельстве: усилия, затраченные на совершенствование телескопов, окупаются сторицей. Практически все большие открытия наземной оптической астрономии, как мы увидим дальше, непосредственно связаны с улучшением телескопов и приемников излучения и изображения.

ПЕРВЫЙ СОВРЕМЕННЫЙ РЕФЛЕКТОР

Хорошей иллюстрацией изложенных выше соображений является вся история современной наблюдательной астрофизики. Начало современной астрофизики относится к событиям приблизительно столетней давности. В этот период достаточно высококачественный рефлектор, обслуживаемый коллективом квалифицированных и инициативных астрономов, начал работать в хороших атмосферных условиях. Появление его было, однако, завершающим актом целой цепи случайностей.

В 1873 г. экстравагантный калифорнийский миллионер Лик, составивший значительное состояние в результате земельных спекуляций во время золотой лихорадки, почувствовал, что ему остается недолго жить и что нужно распорядиться своими 3 млн. долларов. Среди нескольких благотворительных предприятий, финансирование которых обеспечивалось его завещанием, первое место отводилось созданию обсерватории, расположенной в Калифорнии и оснащенной крупнейшим в мире телескопом. Не совсем ясно, каким образом Лик пришел к этой мысли, по-видимому, его влекли грандиозные предприятия — одно время он рассматривал проект постройки пирамиды, несколько превышающей размером Хеопсову, в центре Сан-Франциско... Уже смертельно больной Лик наблюдал с помощью одного из своих друзей Луну и планеты в небольшую трубу, и тут было принято очень важное решение — не строить обсерваторию на Маркет-стрит в Сан-Франциско, а вынести ее в горы. Хотя Лику и хотелось, чтобы телескоп был на виду, его

удалось убедить в том, что расположение в горах дает инструменту многие преимущества.

Вскоре после некоторых колебаний было выбрано место для будущей обсерватории на вершине горы Маунт-Гамильтон, сравнительно доступной для туристов. Вершина была выбрана, по-видимому, из эстетических соображений — измерения качества изображения до строительства обсерватории не велись. Может быть, вспомнились слова Ньютона, который, с его всеобъемлющим умом, в 1717 г. писал: «Если теория и изготовление телескопов может быть в конце концов воплощены в практику, останутся некоторые границы, за которыми телескоп не может действовать. Ибо воздух, через который мы смотрим на звезды, находится в постоянном дрожании... Единственным средством является более чистый и спокойный воздух, который можно, видимо, найти на вершинах высочайших гор над облаками».

Так или иначе, правительство США отдало территорию вершины Маунт-Гамильтон астрономам, а местные власти в 1875—1876 гг. проложили на нее дорогу.

Теперь стал вопрос о научном руководстве строящейся обсерваторией. И действительно, во всей Калифорнии тогда нельзя было найти ни одного астронома, а среди душеприказчиков Лика самым близким к астрономии человеком был один из работников геодезической службы. Душеприказчики подошли к делу серьезно и попросили консультации у знаменитого тогда Саймона Ньюкомба, астронома Вашингтонской обсерватории. Ньюкомб поехал в Европу, чтобы ознакомиться с ведущими обсерваториями, в том числе и с Пулковской, которую в то время по праву называли астрономической столицей мира. Вернувшись, он обратил внимание на необходимость проверки качества атмосферы на горе Гамильтон, для чего рекомендовал одного чикагского любителя астрономии — Бернхема. В августе 1879 г. Бернхем прибыл на гору с 15-сантиметровым рефлектором и, пронаблюдав 2 месяца, убедился в том, что качество атмосферы здесь значительно лучше, чем в Чикаго, его небольшой инструмент работал здесь заметно лучше, чем вдвое более крупный телескоп, установленный на равнине. Таким образом, примерно 100 лет назад появилась обсерватория, расположенная в хороших атмосферных условиях.

Но деятельность Ньюкомба этим не ограничилась: он направил на обсерваторию одного из своих учеников в качестве директора, он же в значительной степени определил организацию и характер деятельности новой обсерватории.

Теперь отвлечемся на некоторое время от событий, происходящих на дальнем Западе США, и перенесемся в Европу, где в это время происходили события, без которых развитие современной наблюдательной астрофизики, быть может, пошло бы совершенно другим путем.

В середине XIX в. во Франции были изготовлены первые стеклянные параболические зеркала. Отражающий свет параболоид является идеальным прибором для построения хорошего изображения удаленного предмета небольших угловых размеров. Параболические зеркала из металла делались и ранее. Телескопы старых мастеров Шорта, Гершеля и Росса имели зеркала, близкие по форме к параболоиду. Но из металла не удастся сделать зеркало с достаточно точной формой поверхности, а для получения хорошего изображения зеркало должно отличаться от параболоида менее чем на $\frac{1}{20}$ мк. Кроме того, зеркальный металл, из которого делались зеркала, довольно плохо отражал свет. Тем не менее диаметр металлических рефлекторов дошел почти до 2 м и с их помощью были сделаны астрономические открытия первостепенной важности.

Так или иначе с развитием теории оптических приборов, стекловарения и технологии обработки появилась возможность создавать высокоточные стеклянные параболоиды. Трудность здесь состоит в следующем: параболоид сводит лучи от бесконечно удаленной звезды в точку, но лаборатория, где ведется его изготовление, имеет конечные размеры. Поэтому нужно создать в небольшом помещении имитацию бесконечно удаленной точки, чтобы проконтролировать по ее изображению степень совершенства параболоида. Эта задача была сведена английским оптиком Коммоном к изготовлению высококачественного плоского зеркала, которое отбрасывало выходящий из параболоида параллельный пучок (оптическая система обратима, и если в фокусе параболоида поставить точечный источник света, из него выйдет пучок параллельных лучей) назад; параболоид давал рядом с точечным источником его изображение.

Трудность теперь состояла в изготовлении плоского зеркала, но для небольших телескопов решение было найдено (мы остановимся на нем позже).

В 1879 г. под руководством Коммона в Англии было изготовлено вогнутое стеклянное параболическое зеркало диаметром 90 см. Оно оказалось весьма точным — разрешающая способность (диаметр изображения звезды в фокусе телескопа при идеальных атмосферных условиях) была не хуже 0,5" ($\frac{1}{400000}$ фокусного расстояния). При изготовлении этого зеркала было впервые применено то, что называется в наше время научным подходом — применялись обоснованные методы изготовления и контроля, причем высококачественное зеркало было получено в результате планомерной работы, а не случайного поиска.

Изготовленное и исследованное 90-сантиметровое зеркало было смонтировано на соответствующей механической установке (телескоп должен иметь возможность быть направленным в любую точку неба и следить за наблюдаемым объектом в его суточном движении), и в 1885 г. Коммон продал изготовленный таким образом телескоп состоятельному любителю астрономии Кросслею, который установил его в своем поместье в Галифаксе, в самом центре Британских островов. Однако туманный климат Англии не способствовал успеху наблюдений на новом телескопе, и в 1894 г. Кросслей дает объявление в научной периодике, предлагая свой рефлектор для продажи.

На это сообщение быстро откликнулся Хольден, директор Ликской обсерватории, в свое время рекомендованный на этот пост Ньюкомбом; он был заинтересован в приобретении этого новомодного инструмента. Но у обсерватории не было денег; о бюджете подобного учреждения можно судить по тому, что на приобретение книг для библиотеки в те времена отпускалось 50 долларов в год. Холдену удалось уговорить Кросслея подарить свой рефлектор, на что тот ответил согласием. Но не было денег и на перевозку, их пришлось собирать по подписке. Все же в 1895 г. рефлектор, получивший имя Кросслеевского, был установлен в Ликской обсерватории. Вначале его механическая часть была модернизирована, чтобы улучшить ее жесткость и плавность движения.

Затем инструмент вошел в регулярную эксплуатацию.

Остановимся теперь ненадолго на анализе развития мирового телескопостроения в конце XIX в. Рефлекторы с металлическими зеркалами, о которых мы упоминали ранее, во второй половине XIX в. сдали свои позиции рефракторам. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, создание двухлинзовых ахроматических (т. е. сводящих в одну точку лучи разного цвета) телескопов было весьма солидно обосновано математически. Даже ученые класса Эйлера и Клеро не гнушались вести расчеты линзовых объектов, в результате чего были найдены многочисленные варианты конструктивных данных (кривизны поверхностей линз и расстояния между ними). Стекловары научились отливать достаточно крупные заготовки из флинта и крона высокого качества (для того чтобы сделать ахроматический объектив, нужно иметь два сорта стекла — с большим и малым показателем преломления). И, наконец, были разработаны методы изготовления линз, в точности соответствующих расчетным данным.

Все это позволило изготовить телескопы со значительно лучшим качеством изображения. Рефракторы становились все крупнее и крупнее (традицией Пулковской обсерватории было иметь крупнейший рефрактор в мире), пока не стали ощутимыми трудности изготовления больших однородных прозрачных дисков стекла. Так, для Ликского телескопа кроновая заготовка (для собирающего компонента объектива) была изготовлена после 19 попыток; этот телескоп был предпоследним из крупных телескопов подобного рода. Но не только технологические трудности стояли на пути развития крупных рефракторов: теория и опыт показали, что они все же обладают заметной хроматической аберрацией. Для фотографирования слабых объектов рефракторы были непригодными; в синей, наиболее действующей на фотопластинки области спектра они давали недостаточно резкое изображение и, кроме того, их светосила была невелика. Это последнее обстоятельство весьма важно: дело в том, что ночное небо, на фоне которого мы наблюдаем звезды, туманности и галактики, не абсолютно черное, оно имеет небольшую, но вполне ощутимую яркость. Для того чтобы выявить на фотографии слабые протяженные объекты, сливающиеся своими границами

с ночным небом, необходимо, чтобы при фотографировании было зарегистрировано и свечение ночного неба, а это требует при данной чувствительности фотопластинок вполне определенной светосилы телескопа. В те времена, на заре практического использования фотографии, эта светосила при разумных (в несколько часов) экспозициях составляла 1:3—1:5, рефракторы ее обеспечить не могли. Стекланный параболический рефлектор с серебряным отражающим слоем (химическое серебрение стекла было открыто Либихом в середине XIX в.) легко обеспечивал необходимую светосилу при диаметре порядка метра и полном ахроматизме. Вот почему фотографирование слабых астрономических объектов началось с появлением высококачественных стекланных рефлекторов.

Вернемся, однако, к Кросслеевскому рефлектору Ликской обсерватории. Удачное место установки (позже мы поймем, почему атмосферные условия для астрономических наблюдений на изолированной вершине наиболее благоприятны), большое количество дней с ясной погодой и квалифицированный коллектив астрономов позволили сразу получить на 90-сантиметровом рефлекторе результаты, имеющие научную ценность. Работа этого рефлектора оказала стимулирующее влияние на строительство более крупных и совершенных телескопов.

Интересна атмосфера, создававшаяся вокруг нового телескопа. Обсерваторский фольклор сохранил подробности первых лет работы на Кросслеевском рефлекторе. В коллективе астрономов, работающих с новым телескопом, господствовала обстановка максимализма, когда плохо сфокусированные или недостаточно хорошо проявленные снимки считались непростительной ошибкой. Некоторые наиболее критические астрономы утром прокрадывались в фотолабораторию, где сушились негативы предыдущей ночи, чтобы составить независимое суждение о качестве работы своего коллеги, который в это время мирно отдыхал после наблюдений. Вокруг недостаточно искусных наблюдателей создавался климат нетерпимости, который побуждал их выжимать из инструмента все, на что он способен.

Все это не замедлило дать результаты. На снимках с Кросслеевским рефлектором оказалось множество внегалактических туманностей — от самых маленьких, изоб-

ражения которых лишь с трудом можно отличить от звездных, до крупных, в которых были хорошо видны спиральные ветви и темное поглощающее вещество. Этот факт имел большое значение для понимания поглощения света в межзвездном пространстве. На одном из снимков был обнаружен выброс из ядра галактики М 87, споры о природе которого продолжаются среди теоретиков и в наши дни.

Роль Кросслеевского рефлектора состояла еще в том, что он задал довольно высокий исходный уровень крупного телескопостроения. Так как ни одна уважающая себя обсерватория не могла позволить себе иметь рефлектор хуже предыдущего, следующий телескоп, построенный в 1908 г. на обсерватории Маунт-Вилсон вблизи Лос-Анджелеса, имел диаметр 150 см при исключительно хорошем качестве оптики (размер неискаженного изображения звезды $\sim 0,1''$).

Обсерватория Маунт-Вилсон была построена в 1904 г. для наблюдений Солнца; специальных исследований качества ночной атмосферы не делалось. Но благодаря расположению на довольно хорошо изолированном горном отроге этот пункт показал впоследствии хорошие атмосферные условия для ночных наблюдений, что позволило использовать появившиеся там инструменты 1,5- и 2,5-метровые рефлекторы весьма эффективно. С помощью этих телескопов впервые было измерено расстояние до внегалактических туманностей.

КРУПНЕЙШИЙ ТЕЛЕСКОП НАЧАЛА ВЕКА

Возникновение обсерватории Маунт-Вилсон связано с именем американского исследователя Солнца и, как бы мы сказали сейчас, организатора науки — Джорджа Хэла, родившегося в 1868 г. Хэл интересовался астрономией с детства, в чем его поощрял отец. После обучения в Массачусетском технологическом институте он стал работать в Чикаго, где в 1891 г. изобретает вместе с Эллерманом спектрогелиограф — спектральный инструмент для наблюдения Солнца, который позволяет наблюдать поверхность и окрестности нашего дневного светила в излучении спектральной линии определенного элемента. Это открытие принесло его автору быстрый

успех и широкое признание; жизненный путь молодого ученого был окончательно выбран.

В возрасте 23 лет он едет в Европу, где с помощью самых авторитетных ученых Англии и Франции основывает «Астрофизический журнал», являющийся и поныне основным астрофизическим изданием западного мира. Россия в астрофизических исследованиях была отмечена включением в редакцию известного пулковского астрофизика А. А. Белопольского.

Вернувшись в Чикаго, Хэл понял, что для спектрального исследования Солнца, звезд и туманностей ему необходим значительно более крупный инструмент, чем имевшийся 25-сантиметровый рефрактор. В это время он узнал, что у Альвана Кларка — оптика, изготовившего Ликский объектив, есть стеклянные заготовки для создания более крупного телескопа, от которых отказался один из американских университетов. Хэл загорелся идеей построить крупнейший в мире рефрактор для Чикагского университета и начал столь характерную для американских астрономов того времени деятельность по добыванию денег. История эта весьма упрощенно описана Т. Драйзером в «Финансисте» в главе «Планета Марс». На самом деле Хэл не отставал от чикагского трамвайного магната Йеркса до тех пор, пока ему не удалось получить всю сумму, в том числе и средства для строительства здания обсерватории. Дело это заняло больше года, причем настойчивому астроному иногда отказывали в приеме. Тем не менее в 1897 г. Йеркская обсерватория, оснащенная метровым рефрактором и расположенная недалеко от Чикаго, вступила в строй.

Однако предприимчивость Хэла уже искала новых точек приложения. Однажды в 1902 г., читая чикагскую газету, он узнал, что А. Карнеги, составивший огромное состояние производством стали, решил уделить малую толику своих капиталов развитию науки. Уже организованы лаборатории генетики и ботаники, бюро исторических исследований и отделение исследования земного магнетизма. Воображение Хэла мгновенно воспламенилось — вот он, наконец, миллионер, понимающий значение науки, которого не нужно осаждать тщетными просьбами о мелких подачках и с которым можно начать проект большого масштаба. Через несколько месяцев Хэл вместе с четырьмя другими астрономами был назначен

членом комитета Карнеги для изучения возможности финансирования астрономических исследований.

Астрономический комитет, не без влияния Хэла, принял рекомендацию устроить солнечную обсерваторию в пункте с особенно благоприятными климатическими условиями. Для поисков этого места были выделены средства, и один из ликских астрономов начал путешествовать с небольшим телескопом, изучая спокойствие изображения Солнца. Довольно быстро район его действий сузился, ограничившись несколькими вершинами в Южной Калифорнии. Среди них были горы Маунт-Вилсон и Паломар.

После того как Хэл подтвердил данные по Маунт-Вилсону (для этого пришлось обратиться к очередному миллионеру — Гукеру и организовать экспедицию), фонд Карнеги выделил деньги на постройку солнечной обсерватории. Вместе с Хэлом в Калифорнию перебралось несколько сотрудников Йеркской обсерватории. Для нашего дальнейшего изложения важной фигурой является оптик Джордж Ричи, который еще в Чикаго сам изготавливал зеркала в 50—60 см диаметром. В Калифорнии перед ним была поставлена задача придать форму оптически совершенного парабооида поверхности 150-сантиметрового стеклянного диска.

Этот диск был заказан Хэлом во Франции на старинной фабрике зеркального стекла в Сен-Гобене, основанной еще Людовиком XIV в 1665 г., когда король-солнце пожелал избавиться от монополии венецианских зеркальных мастеров. Из поколения в поколение передавали стекловары свои секреты — ведь даже в настоящее время варка оптического стекла остается своего рода искусством. Вершиной их достижений и явился 150-сантиметровый диск, отлитый по секретному рецепту и отожженный в течение длительного времени для устранения внутренних напряжений. Ричи начал обрабатывать заготовку на станке своей собственной конструкции. Стеклянный диск медленно вращался, лежа плашмя; второй диск, сделанный из литого железа, двигался по обрабатываемой заготовке взад и вперед по ее радиусу. Между дисками находилась кашица из воды и наждака. После месяца или двух такой шлифовки в стеклянном диске образовалась выемка глубиной около 2 см. Этого было достаточно. Тщательно вымыв заготовку, станок, поме-

щение и себя самого, чтобы удалить даже малейшие следы грубого наждака, Ричи перешел к более мелкому шлифующему порошку. Повторяя этот процесс несколько раз, он добился гладкой матовой поверхности сферической выемки. Теперь начиналась настоящая работа — придание выемке формы высокоточного параболоида вращения.

После очередной, еще более тщательной уборки и чистки Ричи заколотил окна, чтобы уберечься от проникающей через них пыли, и начал полировку. Одевшись как хирург, он перешел к обработке диска самым мелким сортом окиси железа. Оставалось снять несколько десятитысячных долей миллиметра. Этот процесс занял два года. Время от времени зеркало контролировали, используя метод, разработанный Коммоном и изложенный выше. Процесс полировки продолжался всего несколько минут, после этого станок останавливали, давая нагревшемуся от трения стеклу остыть.

Хэл оставил Ричи наедине с зеркалом, помощь в этом деле могла лишь помешать. И действительно, высокое чувство ответственности и неиссякаемое терпение привели к появлению весьма высококачественного зеркала. Чтобы не потерять его прекрасных свойств, Ричи пошел дальше — он спроектировал конструкцию телескопа и башни, наиболее соответствующую высококачественной оптической системе. Мало того, создатель зеркала взялся за астрономические наблюдения.

Ричи был весьма искусным экспериментатором. Изготовив телескоп, он начал на нем наблюдать, стремясь достигнуть максимальной четкости снимка и, следовательно, регистрации сколь возможно слабых звезд. Хорошие снимки в те времена, да, впрочем, и сейчас требовали для своего получения большого искусства. Экспозиции на 60-дюймовом телескопе на несовершенных фотопластинках начала века достигали 10—15 ч. Каждые полтора часа Ричи вынимал кассету и заново фокусировал телескоп (из-за остывания зеркала фокус постепенно менялся). Днем зеркало охлаждали с помощью специального холодильника, что было в 1910 г. известным новшеством, а башню закрывали брезентовым балдахином для того, чтобы не дать телескопу нагреться. Дрожание изображения компенсировалось смещением кассеты; путем длительной тренировки Ричи удавалось вы-

полнять до четырех коррекций в секунду каждой рукой. Имелся тренажер, на котором он днем совершенствовал свое искусство. В зубах наблюдатель держал электроконтакт, который позволял быстро закрыть затвор кассеты в момент ухудшения изображений. Однажды наблюдатель, проработав целую ночь таким образом, обнаружил, что кассета не была заряжена...

Все эти ухищрения принесли свои плоды. На снимках туманности Андромеды, полученных Ричи в 1910 г., мы можем отождествить переменные звезды, открытые позже с помощью 2,5- и 5-метровых телескопов. Если бы в это время была получена серия снимков, переменные звезды в других галактиках можно было обнаружить уже тогда. Это дало бы возможность доказать, что спиральные туманности — самостоятельные галактики (в 1913 г. была прокалибрована в абсолютных величинах зависимость светимости переменных звезд-цефеид от их периода). Но это произошло десятью годами позже.

На полученных с помощью 60-дюймового телескопа снимках туманностей М 31 и М 33 впервые оказались заметны отдельные звезды. Между 1910 и 1920 г. появились серьезные основания считать, что эти туманности являются обширными самостоятельными звездными системами. Если говорить о числах, то 60-дюймовый телескоп регистрировал на пределе чувствительности и при соблюдении всех упомянутых выше предосторожностей звезды 21,5 звездной величины¹. Такая звезда в 4×10^8 раз слабее хорошо известной нам Веги — ярчайшей звезды северного неба.

В 1917 г. на 60-дюймовом телескопе была открыта сверхновая² во внегалактической туманности NGC6946, которую сочли Новой (расстояние до туманности не было известно), и две новых в туманности Андромеды. Эти наблюдения явились дополнительным аргументом в пользу того, что наблюдаемые галактики действительно не принадлежат нашей звездной системе.

¹ Изменение блеска звезды на 1 звездную величину делает ярче или ослабляет ее примерно в 2,5 раза.

² По сложившейся традиции названия объектов, находящихся в нашей Галактике, пишут с большой буквы в отличие от внегалактических объектов, например Новые и Сверхновые, новые и сверхновые.

Таким образом 60-дюймовый рефлектор сильно приблизил астрономию к решению одного из своих фундаментальных вопросов — определения шкалы метагалактических расстояний. Кроме того, этот телескоп, как и его предшественник, стимулировал создание новых более мощных инструментов.

За 60-дюймовым телескопом обсерватории Маунт-Вилсон последовал 100-дюймовый (2,5-метровый), также изготовленный Ричи. Он вступил в строй в 1918 г. и оказался заметно эффективнее в том смысле, что предельная звездная величина 60-дюймового рефлектора получалась на нем без особых ухищрений с экспозициями порядка 1 ч (здесь сыграл также роль прогресс фотографических материалов), причем наблюдателем мог быть обычный астроном, не очень искусный в тонкостях обращения с астрономическими инструментами. 100-дюймовый телескоп был установлен близ 60-дюймового, работали на нем те же астрономы и проблематика его оказалась продолжением и развитием начатых на 60-дюймовом инструменте исследований.

Результаты не заставили себя ждать. Осенью 1923 г. в туманности Андромеды была открыта первая цефеида. Вскоре их число увеличилось до десятка в туманностях M 33, M 31 и NGC 6822. По кривым блеска было установлено, что это такие же переменные звезды, какие наблюдаются в нашем Млечном Пути, и зависимость «период-светимость» тут же дала расстояние до них. По размерам спиральные туманности оказались сравнимыми с нашей Галактикой, а расстояния до них на порядок превосходили размеры Млечного Пути. Спор о том, где находятся «слабые туманности», был окончен.

Вопрос о том, имеется ли зависимость скорости движения внегалактических туманностей от расстояния до них, в это время уже поднимался, но наблюдательный материал в то время был невелик. В 1929 г. было известно (по цефеидам и ярчайшим звездам, которые примерно на 3 звездных величины превосходили ярчайшие цефеиды) расстояние до 18 галактических туманностей. Таким образом, лишь появление крупных телескопов позволило определить расстояние до внегалактических туманностей. Получение их спектров оказалось значительно более простой задачей. Они были сфотографированы

на небольшом рефракторе. Сопоставление данных позволило обнаружить факт красного смещения, установив известный ныне закон Хаббла.

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕЛЕСКОПА

Посмотрим теперь, от чего зависит эффективность крупного телескопа при фотографировании и спектрографировании небесных объектов. Каждый телескоп может уверенно регистрировать небесные объекты до определенной звездной величины, и именно этот предел характеризует его эффективность. Одной из важнейших задач практической астрофизики является наблюдение предельно слабых объектов. Интересно поэтому выяснить, как зависит эта эффективность от диаметра телескопа, его фокусного расстояния, чувствительности фотопластины, времени экспонирования и атмосферных факторов. В качестве отправного пункта наших рассуждений заметим, что 5-метровый телескоп регистрирует на современных фотопластинках звезды 23-й величины при неплохих атмосферных условиях за 30 мин. Подобный снимок перекрывает рекорды Ричи примерно вчетверо.

Каким образом можно улучшить проникающую силу телескопа? Первая мысль, которая появляется у астронома, — это увеличение экспозиции. Действительно, ради рекордного снимка или спектра не жаль потратить несколько ночей работы крупного телескопа. Но, к сожалению, это неосуществимо.

Дело в том, что астрономический негатив, полученный нами на 5-метровом телескопе с 30-минутной экспозицией, выглядит как не очень сильно, но равномерно засвеченный снимок, на котором видны звезды, туманности и галактики. Ночное небо, на фоне которого мы их наблюдаем, совсем не черное: оно имеет вполне измеримую яркость. Поэтому, если мы увеличим экспозицию, снимок окажется передержанным и мы ничего на нем не увидим.

Следующая мысль, которая появляется у астронома, желающего проникнуть в глубины Вселенной еще даль-

ше, такова: нельзя ли увеличить фокусное расстояние телескопа таким образом, чтобы при данном диаметре его светосила уменьшилась (ведь диафрагмируем же мы объектив нашего фотоаппарата, если пейзаж освещен слишком ярко!). При этом фон неба начнет мешать при значительно больших экспозициях, и мы сможем обнаружить значительно более слабые звезды... Однако сильно увеличивать фокусное расстояние телескопа нельзя. Теория и опыт работы на крупных телескопах показали, что решающим фактором, определяющим эффективность телескопа при наблюдении предельно слабых объектов, является отношение диаметра зеркала телескопа к размеру даваемого им изображения звезды. Менее важными, но все же ощутимыми являются: квантовый выход приемника, время экспозиции и яркость фона свечения ночного неба, о котором мы говорили выше. Все эти факторы нужно оптимизировать: экспериментатор может улучшить квантовый выход и до определенных пределов увеличить экспозицию. Что касается фона неба¹, естественно возникает мысль о том, нельзя ли радикально уменьшить его, вынося телескоп на орбиту спутника Земли или на Луну, — современная техника в силах это осуществить. Ответ дают измерения свечения фона ночного неба, выполненные с поверхности Земли и с космических аппаратов. Теория и эксперимент говорят нам, что при уменьшении фона ночного неба в 3 раза проникающая сила телескопа увеличится лишь примерно в 1,7 раза. Поэтому наблюдать слабые объекты в видимой области спектра с орбитальных станций нецелесообразно. Лучше направить усилия внеатмосферной астрономии на спектральные области, невидимые с поверхности Земли: здесь у орбитального телескопа конкурентов нет.

Таким образом, ключевым фактором, определяющим эффективность современного телескопа при наблюдениях

¹ В видимой области спектра земная атмосфера дает приблизительно $\frac{2}{3}$ фона ночного неба (свечение атмосферы названо в основном химическими процессами на высотах от 100 до 250 км. Остальное приходится на внеатмосферное свечение, состоящее из суммарного излучения звезд Млечного Пути и Зодиакального света — рассеянного околосолнечным пылевым облаком излучения нашего дневного светила.

предельно слабых объектов (а именно эти наблюдения находятся на переднем крае астрофизики наших дней), является отношение диаметра его зеркала к качеству (размеру) даваемого им изображения. То, что современный телескоп должен быть крупным, сомнений не вызывает — 5- и 6-метровый калибр флагманов наземной оптической астрономии служит этому свидетельством; однако не менее важным требованием является превосходное качество оптической системы инструмента. На первый взгляд это требование не столь очевидно, но теория и многолетний опыт наземной оптической астрономии убедительно говорят о недопустимости даже малейшего компромисса в отношении качества изображения. Важнейшую роль играет также установка телескопа в месте с минимальными атмосферными помехами; мы вернемся к этой интереснейшей проблеме практической астрофизики несколько позже. Пока же посмотрим, как обстоит в настоящее время дело с изготовлением крупных высококачественных оптических систем для астрономических наблюдений.

Прежде чем начать изготовление телескопа, современные астрономы рассчитывают его оптическую систему. Геометрическая оптика позволяет с высокой точностью определить свойства оптической системы, интересующие астронома, — в первую очередь светосилу, качество изображения и поле зрения (широкоугольность) конструируемого телескопа. Математические расчеты покажут, с какой точностью должны быть изготовлены детали оптической системы телескопа и каким образом точность их изготовления должна быть проверена.

В настоящее время для расчета оптических систем крупных телескопов широко применяются ЭВМ, которые позволяют осуществить объем вычислений, недоступный при ручном расчете. Они позволяют проанализировать множество вариантов оптической системы, выбирая не только наилучший с точки зрения астронома, но и обращая внимание на трудности его технического осуществления. Дело в том, что изготовление крупной астрономической оптики остается своего рода искусством, и каждый занимающийся им, должен знать границу между возможным и невозможным. Поэтому недостаточно математически рассчитать тот или иной вариант оптики

телескопа, нужно убедиться в том, что он осуществим технологически.

В результате расчета оптической системы должны войти данные о допустимой ее расцентровке: ведь телескоп следит за звездами в их суточном движении, угол между его трубой и вертикалью меняется и, следовательно, меняется ее гнутие и взаимное расположение оптических деталей. Кроме того, математики берут на себя расчет конструкции рамы, добиваясь, чтобы ее гнутие не выходило за пределы ими же найденных допусков. И, наконец, очень важным является расчет нагрузок зеркал телескопа — сложной системы рычагов и воздушных подушек, «нейтрализующих» вес зеркала при любом положении телескопа на 99,9%. Если нагрузочные приспособления будут работать недостаточно точно, форма поверхности зеркала окажется искаженной.

Таков вкратце характер математического обеспечения процесса изготовления современного телескопа. Однако не следует думать, что компьютер решает все проблемы расчета оптической и механической систем телескопа сам по себе и что создание современного высококачественного рефлектора без него невозможно. Геометрическая оптика, зародившаяся в своем современном виде еще при Галилее, даже 100 лет назад была высоко развитой наукой, чтобы снабдить астрономов идеями, которые можно было воплотить в высококачественные телескопы. В XIX в., когда основным инструментом астрономов был рефрактор, математики не гнушались делать расчеты линзовых объективов, стремясь уменьшить их ошибки и увеличить поле зрения. Основные идеи, осуществляемые в настоящее время при строительстве рефлекторов, были сформулированы в первой четверти нашего века К. Шварцшильдом, А. Кретьеном и Д. Максудовым, и то, что они оказались воплощенными в реальные конструкции лишь в наши дни, можно объяснить известной психологической инертностью астрономической общественности.

Каковы же основные оптические идеи, используемые в современной практической астрофизике? С помощью какой комбинации зеркал и линз можно собрать в точку минимального диаметра свет звезды и обеспечить при этом максимальную широкоугольность? Насколько труд-

ны эти системы в изготовлении? Как мы уже видели выше, первые рефлекторы были параболическими. Действительно, лишь зеркало в виде параболоида вращения может собрать параллельный пучок света от звезды в точку. Качество параболического зеркала можно в принципе проконтролировать по звездам, хотя, как заметил Д. Д. Максутов, звезды светят ночью, а оптики работают днем, да и атмосферные помехи в том месте, где полируется зеркало могут оказаться весьма значительными. Параболоид можно проверить при изготовлении с помощью плоского зеркала, и, наконец, до самого последнего времени параболические телескопы были практически единственным типом рефлекторов, на которых наземная оптическая астрономия получала обильный наблюдательный материал.

Единственным недостатком параболических рефлекторов является небольшой размер их рабочего поля¹, которое даже при использовании специальных линзовых корректирующих систем вблизи фокуса не превосходит у крупных рефлекторов диаметра лунного диска.

Радикальный выход из создавшегося положения был предложен в 20-х годах. Если сделать главное зеркало вогнутым гиперболоидом вращения, то с помощью еще одного гиперболоида — выпуклого можно построить практически идеальные изображения на поле, превосходящем по площади поле параболического рефлектора в десятки раз. Примерно в это же время замечательный советский оптик Д. Д. Максутов предложил аналогичную систему из двух эллиптических зеркал, гораздо более легких в изготовлении.

Эти системы, которые часто называют апланатическими, стали входить в практику астрономических исследований сравнительно недавно, когда удалось преодолеть предубеждение перед гиперболической формой главного зеркала (ведь оно одно не дает хорошего изображения звезды), а главное — разработать такую методику цехового контроля формы поверхности зеркала, которая надежно работает для любых зеркал, имеющих форму кониче-

¹ Размер рабочего поля определяется угловым расстоянием от оптической оси, на котором оптическая система телескопа еще дает изображения достаточно хорошего качества.

ского сечения и даже для близких к ним более сложных поверхностей. Одним словом, новые идеи построения оптических систем в сочетании с их проработкой на ЭВМ позволяют увеличить поле крупных рефлекторов в десятки раз по сравнению с их предшественниками. Для некоторых задач, например для поиска переменных звезд в других галактиках, это эквивалентно удешевлению эффективности телескопов.

Не меньшую роль, чем расчет, играет и его практическое осуществление. Если мы зайдем в оптическую мастерскую современной астрофизической обсерватории, то увидим картину, не сильно отличающуюся для непосвященного от снимков начала века, с которых авторы зеркал первых телескопов современной астрофизики гордо взирают на зрителя на фоне своего детища. Так же, как и 50 лет назад, круглый шлифовальник, близкий по диаметру к зеркалу, движется по вращающейся поверхности обрабатываемого стеклянного блока довольно хитроумным образом, а оптики неторопливо посыпают зеркало тем или иным шлифовальным порошком. Однако сходство здесь лишь внешнее. Современный оптик значительно лучше оснащен высокоточной контрольной аппаратурой и использует гораздо более совершенные материалы для изготовления зеркал. В результате астрооптики наших дней способны создавать зеркала, которые по трудности изготовления были совершенно недоступны их предшественникам, работавшим в начале века.

Трудность изготовления астрономического зеркала характеризуется отклонением его поверхности от сферы, касающейся ее в центре, или, как ее называют, асферикой. И если асферика 60-дюймового зеркала, изготовленного Ричи в 1908 г., не превосходила 10 *мк.*, то современные оптики справляются с изготовлением гиперболических зеркал с асферикой в 250 *мк.*, причем в каждой точке зеркала величина асферики отклоняется от расчетной менее чем на $\frac{1}{20}$ *мк.*

Важную роль в разработке современных телескопов играет переход на новые материалы для изготовления зеркал. Дело в том, что зеркало крупного телескопа представляет собой огромный кусок стекла, вес которого может доходить до нескольких десятков тонн. Так как температура в башне, где установлен телескоп, меняет-

ся, зеркало во время наблюдения деформируется: оно не может мгновенно прогреться или остыть. Поэтому переход к материалам с меньшим коэффициентом теплового расширения улучшает работу телескопа при его работе; качество изображения ухудшается тем меньше, чем ближе к нулю этот коэффициент. В 30-е годы на смену стеклу в качестве материала для крупных астрономических зеркал пришел пирекс, коэффициент расширения которого примерно в 2 раза меньше. В послевоенные годы появился плавленый кварц и, наконец, ситалл — особым образом закристаллизованное стекло. У этого последнего материала коэффициент термического расширения настолько мал, что его трудно измерить: он в сотни раз меньше, чем у стекла, из которого изготовлены зеркала рефлекторов, упоминавшихся в начале этой брошюры. Обращивать с высокой точностью зеркала из таких материалов легче, так как они меньше деформируются от нагрева при полировке. Применение новых материалов для оптических систем оказалось весьма важным и, по-видимому, необходимым шагом при создании современных телескопов.

И все же изготовление крупной астрономической оптики остается весьма трудной задачей, граничащей с искусством. Если стоимость телескопа пропорциональна примерно квадрату его диаметра, то трудность его изготовления растет при удвоении диаметра значительно больше чем в 4 раза. Поэтому коллектив телескопостроителей редко идет на то, чтобы их детище превышало по диаметру своего предшественника больше чем в 2 раза. Наиболее распространенным вариантом крупного современного рефлектора является высококачественная система типа Ричи-Кретьена диаметром 3,5—4 м с оптическими деталями из кварца или ситалла. Оптика этих телескопов должна быть значительно лучше, чем у паломарского 5-метрового, имеющего зеркало с качеством изображения примерно 0,35". Судя по опубликованным данным, современные рефлекторы окажутся способными построить изображение не хуже 0,1". Изготовление подобной оптической системы занимает несколько лет.

Однако телескоп состоит не только из оптической системы. Высокоточная конструкция, воплощающая многие достижения современного машиностроения, позво-

ляет направить оптическую ось телескопа на выбранный астрономом небесный объект и сопровождать его в суточном движении по небу. Для нужд астрономии разрабатывают и изготавливают специальные высококачественные фотопластинки, предназначенные для фотографирования с большими экспозициями (обычные фотоземлюльсии для таких снимков не годятся). Современный телескоп оснащен целой гаммой электронных устройств — от электронно-оптических преобразователей до работающих в реальном времени ЭВМ. Во многих случаях серийная аппаратура, применяемая для других целей, не удовлетворяет требованиям астрофизики и приходится разрабатывать новые уникальные по чувствительности приборы. Отличие астронома от физика, работающего в лаборатории, который может увеличить яркость исследуемого источника света, состоит в том, что он не в состоянии этого сделать и вынужден совершенствовать приемную аппаратуру. За последние два десятилетия наиболее совершенные астрономические приемники изображения для видимой области спектра стали близки по своим характеристикам к пределу, обусловленному квантовой природой света. На вспомогательное оборудование (в основном электронное) современного крупного телескопа уходит 10—15% его стоимости; эффективность телескопа в значительной степени определяется совершенством приемной аппаратуры, поэтому экономить на ней считается недопустимым.

Итак, пути создания высококачественного широкоугольного телескопа с почти идеальной приемной аппаратурой стали нам более или менее ясны. Но будет ли такой телескоп работать эффективно при наблюдении с поверхности Земли, через находящиеся в постоянном движении слои атмосферы? Может быть, полную свою мощность он покажет лишь с поверхности Луны? Ответ на эти вопросы дает один из важнейших разделов практической астрофизики, находящийся на стыке метеорологии, физики атмосферы и инструментальной оптики, — исследование астроклимата.

Не останавливаясь на интереснейшей и драматической истории астроклиматических исследований, заметим лишь, что они являются одной из немногих разновидностей астрономической деятельности, которая может принести весьма и весьма ощутимый материальный эф-

фekt. И, действительно, затраты на проведение серьезного комплекса подобных работ редко превышают 2—3% стоимости крупного телескопа, результаты же их могут повысить его эффективность буквально в десятки раз. Иногда выигрыш даже не может быть оценен материально, так как телескоп, установленный в хорошем пункте, оказывается способен решать такие задачи, перед которыми он бессилен в месте с плохими изображениями.

Астрономы интересуются качеством изображения звезд очень давно. Уже основатели первых обсерваторий нового времени обращали внимание на качество астроклиматических условий вершин, на которых предполагалось начать строительство обсерваторий. Так, при выборе расположения Ликской обсерватории (той, на которой позже был установлен Кросслеевский рефлектор) с помощью небольшого телескопа наблюдали двойные звезды. Астроном, делавший эти наблюдения, заявил, что изображения на исследуемой вершине оказались значительно более четкими, чем на обсерваториях, построенных в равнинной местности. Обсерваторию Маунт-Вилсон выбирали для наблюдений Солнца, но и звездные изображения оказались на ней достаточно хорошими, хотя поведение дневной атмосферы очень сильно отличается от того, что происходит ночью. Немалую роль сыграл, по-видимому, при выборе места для этих обсерваторий и эмоциональный фактор — видеть телескоп как можно ближе к звездам.

Установка на горных обсерваториях крупных инструментов с высококачественной оптикой позволила уже в 20-х годах узнать влияние некоторых атмосферных параметров (например, скорости ветра и градиента температуры близ почвы) на качество изображения астрономических объектов. Так, было установлено, что наилучшие изображения наблюдаются в штиль. Однако накопленные в начале века данные, позволяющие связать качество изображения с рельефом и метеоусловиями, были в 30-е годы прочно забыты и в течение последующих 30 лет для выбора мест широко применялась методика, основным недостатком которой было то, что она показывала во всех пунктах одинаково хорошее качество изображений. Ее использование привело к ряду серьезных ошибок.

Астроклиматические исследования вообще несут в

себе заметный оттенок личного участия многих людей: с одной стороны, всякому наблюдающему астроному не безразлично, где будет находиться новая обсерватория, сколько здесь будет дней с ясной погодой и какие изображения можно ожидать, ведь ему придется работать здесь многие годы, с другой — поиски места, к сожалению, относятся к той области практической астрофизики, которая кажется ясной и понятной почти каждому астроному, ведь судим же мы об изменениях погоды! Руководители многих астрономических учреждений, которые также являются (или были) наблюдающими астрономами, часто весьма энергично воздействуют на людей, ведущих поиски места, с целью склонить их к тому или иному варианту, кажущемуся им наилучшим. Страсти кипят, и иногда в ход идут аргументы, весьма далекие от научных...

Вспоминая эпопею выбора места для 5-метрового рефлектора, один из астрономов, отвечавших за подготовку астроклиматических экспедиций, сетовал на силу предвзятого мнения: «Программу поиска места, пожалуй, действительно следовало провести, но трудно проявлять энтузиазм, когда так много людей просто-напросто считали, что этим местом является гора Паломар». Кстати сказать, поиски места для 5-метрового телескопа велись по совершенно правильной (с современной точки зрения) методике (визуальные измерения дрожания). Наблюдатели калибровали свои оценки по 60-дюймовому телескопу. Были обнаружены местные эффекты, связанные с рельефом. Но... кривую распределения качества изображений на горе Паломар можно считать наихудшей из всех опубликованных в настоящее время различными обсерваториями, хотя ясной погоды там очень много. В начале 60-х годов правильные методы все же одержали победу и получили широкое распространение. Места для строящихся в настоящее время обсерваторий выбраны с их помощью; качество изображения на них существенно лучше, чем на большинстве работающих — несколько сот часов в год оно оказывается лучше 0,5". Исключительное спокойствие атмосферы в районах новых обсерваторий полностью оправдывает стремление к достижению наилучшего качества оптической системы строящихся телескопов, о чем мы уже говорили выше.

Хорошие места для установки крупных инструментов

ищут в настоящее время исключительно в горах на высоте от 2000 до 3000 м над уровнем моря. Вкратце требование к пункту установки телескопа формулируются следующим образом: хорошие изображения можно ожидать на изолированной вершине с большим количеством ясной погоды и слабым ветром. Эта концепция, получившая название концепции изолированной вершины, имеет в настоящее время всеобщее распространение. Наиболее перспективными районами, где она выполняется, являются предгорья Чили, Калифорния, Южная Африка и особенно наша Средняя Азия — Южный Узбекистан и Таджикистан, не имеющие себе равных по спокойствию атмосферы.

Не следует, однако, думать, что внедрение правильной астроклиматической методики решило все проблемы, связанные с получением высокого углового разрешения с поверхности Земли. Исследователи астроклимата довольно давно научились выбирать пункты с хорошим качеством изображения и высоту башни, в которой на этом пункте должен быть установлен крупный телескоп¹. Но дело в том, что качество изображения в телескопе, установленном по их рекомендациям, всегда оказывается значительно хуже, чем полученные при поисках места данные. Астрономы обычно объясняют это различие недостаточной серьезностью научных исследований во время выбора места и легкомыслием сотрудников экспедиций, которые якобы способны занижать оценки качества изображения в несколько раз. Однако ситуация здесь гораздо сложнее. При исследовании астроклимата температурный и ветровой режим на вершине горы практически не искажается — телескоп для выбора места имеет небольшие размеры и массу; когда же в выбранной точке строят башню телескопа, она заметно искажает обтекание вершины ветром, согревает окружающий воздух теплом, выделяемым электрооборудованием телескопа, и охлаждает его в результате соприкосновения с сильно охлаждающейся ночью обшивкой купола, при этом ничего хорошего ожидать не приходится. Многие астрофизики уже поняли создавшееся положение и начали иссле-

¹ На изолированных вершинах практически все искажения волнового фронта небесных объектов возникают в сравнительно тонком 10—15-метровом приземном слое атмосферы.

дования по уменьшению теплового и аэродинамического воздействия башни на окружающую атмосферу. Постановка вопроса здесь ясна, и не вызывает сомнения, что в ближайшие годы будут найдены эффективные меры по термо- и аэродинамическому согласованию башен современных телескопов с атмосферой. Результатом явится увеличение в несколько раз проникающей силы инструментов.

Что же можно сказать в настоящее время о величине мешающего влияния земной атмосферы? В научной и популярной литературе и сейчас довольно часто можно встретить утверждения, сводящиеся к тому, что с поверхности Земли невозможно разглядеть объекты размером мельче одной секунды дуги. Однако всякий наблюдающий астроном знает, что даже на существующих обсерваториях, большинство которых было построено без серьезного выбора места или с выбором по ошибочной методике, порой наблюдаются изображения, значительно лучшие $0,5''$, что еще в 1920 г. на обсерватории Маунт-Вилсон с помощью интерферометра были измерены угловые диаметры некоторых звезд при разрешении, значительно лучше, чем $0,01''$, и, наконец, что по всем данным новые обсерватории должны иметь сотни часов в год с изображениями, лучшими $0,5''$. Еще более категорично ответит на этот вопрос астроном, занимающийся выбором мест для установки крупных телескопов. Его аппаратура, не искажающая атмосферу над изолированной вершиной, показывает заметную часть времени (несколько сот часов в год) качество изображения, равное... нулю. Разумеется, нулю оно не равно, оно меньше порога чувствительности подобного рода приборов, который в настоящее время составляет $0,2-0,3''$. Одним словом, в настоящее время мнение специалистов о возмущающем влиянии земной атмосферы очень оптимистично — после принятия ряда предосторожностей, которые нам в основном укажут исследования по башне, наземные оптические телескопы смогут значительное время, исчисляемое сотнями часов в год, работать с разрешением, лучшим $0,5''$, а возможно, и близким к дифракционному.

Мы видим, что основной идеей развития современной практической астрофизики является достижение максимально хорошего качества изображения. Однако это не все. Современная вычислительная математика еще не

сказала своего слова в наблюдательной астрофизике слабых объектов. А она предлагает астроному многие неожиданные возможности. Так, телевизионное изображение может быть введено в память ЭВМ и накапливаемо в течение практически сколь угодно продолжительной экспозиции — таким образом возможна регистрация астрономического изображения без передержки. Более того, компьютер может суммировать изображения с нескольких различных телескопов, даже установленных в различных обсерваториях, в одной памяти, делая подобную систему эквивалентной одному очень крупному телескопу. Высококачественные телескопы, расположенные на одной обсерватории, можно будет использовать совместно в режиме интерферометра для получения сверхвысокого углового разрешения. В настоящее время уже рассматриваются аванпроекты подобных устройств с базой порядка 100 м.

Таким образом, создание высококачественных широкоугольных телескопов с современной приемной аппаратурой и установка их в местах с хорошими атмосферными условиями явится основным фактором, который определит прогресс оптической астрономии в ближайшие десятилетия. А перспективы здесь весьма многообещающи. В течение 10—20 лет проникающая способность наземных телескопов улучшится на 5—8 звездных величин (минимально обнаружимая яркость звезды уменьшится в 100—1000 раз); примерно таков был прогресс на протяжении предыдущих 80 лет — от Кросслеевского рефлектора до 5-метрового Паломарского телескопа. По-видимому, к концу века станет реальным наблюдать на новых телескопах с усовершенствованными электронными приемниками объекты приблизительно 30-й звездной величины, расширив тем самым радиус доступной нашему исследованию части Вселенной по крайней мере в 10 раз. И сейчас даже трудно себе представить, какие новые результаты фундаментального значения принесет в своем бурном развитии наземная оптическая астрономия.

5-МЕТРОВЫЙ РЕФЛЕКТОР

Ясное направление развития наземной оптической астрономии было сформировано далеко не сразу. Ценой

многих проб и ошибок астрономы находили оптимальные варианты технического решения различных блоков телескопа, организационных мероприятий и научной проблематики инструмента. О разных сторонах этого процесса свидетельствует история строительства крупных телескопов обсерватории Маунт-Вилсон — Паломар, некоторые эпизоды которой мы приведем ниже.

На обсерватории Маунт-Вилсон в конце 20-х годов, как мы уже знаем, за 60-дюймовым рефлектором последовала установка 100-дюймового. Накопленный опыт позволил добиться хорошего качества и этого телескопа, хотя сначала существовала очень большая неуверенность в возможности изготовления его оптической системы. Заготовка для 2,5-метрового зеркала была также заказана в Сен-Гобене, но так как ее отливка производилась одновременно из нескольких горшков со стеклом, в блоке оказалось множество пузырьков воздуха. На обсерватории решили, что зеркало из такого диска сделать не удастся, и он некоторое время лежал в мастерской как поверочная плита. Однако после консультации со специалистами опасения уменьшились, хотя и не исчезли полностью. Ричи начал обработку, которая затянулась на 6 лет, — существовало опасение, что диск лопнет на стенке. Нервное напряжение в оптической мастерской было столь велико, что Ричи испортил отношения с большинством обсерваторских астрономов, а один из его помощников даже лишился рассудка.

Испытания зеркала в лаборатории показали, однако, что параболическая поверхность выдержана с высокой степенью точности, но Ричи терзали сомнения насчет того, как оно будет вести себя при наблюдениях. В мрачную ноябрьскую ночь 1917 г. зеркало установили в телескопе. Америка недавно вступила в мировую войну, и настроение у всех было довольно мрачное. Ричи отказался присутствовать при испытаниях и в унынии уселся на уступ скалы поблизости от башни. Телескоп навели на яркую звезду, и худшие предположения оправдались — наблюдатели увидели много пятен неправильной формы. Ни одно из них не было резким и маленьким.

В чем же дело? Может быть, днем, когда купол был открыт, пятитонная масса зеркала прогрелась и потеряла совершенную форму? В невеселом настроении астрономы ушли, чтобы попытаться заснуть, через не-

сколько часов, перед рассветом, они опять собрались на башне. Без особых надежд навели они телескоп на звезду... и увидели одну-единственную маленькую яркую точку. Еще никто не видел звездного изображения такой яркости. Телескоп оказался удачным.

60- и 100-дюймовые телескопы успешно работают и сейчас, хотя засветка неба от разросшегося Лос-Анджелеса и препятствует наблюдению слабых объектов с помощью этих инструментов. Ричи покинул обсерваторию Маунт-Вилсон и перебрался во Францию, где весьма детально описал создание обоих телескопов. Полученные им фотоснимки до сих пор можно найти в любой популярной (а часто и профессиональной) книге по наблюдательной астрономии.

100-дюймовый телескоп начал работать в начале 1918 г. С его помощью было сделано много работ самого различного характера, но он поставил больше вопросов, чем решил, и астрономы задумались о том, что же делать дальше.

«Подобно спрятанным сокровищам, границы Вселенной привлекали авантюристов с незапамятных времен. Князья и властители политики и промышленности, подобно людям науки, почувствовали зов неизведанных океанов космоса. И если затраты на поиски небесных сокровищ больше, чем при поисках золота Моргана и Флинта, ожидание богатой добычи здесь, без сомнения, не менее сильно, а пути не менее привлекательны», — так писал Хэл в 1928 г.

Строительство 200- и даже 300-дюймового рефлектора считалось сотрудниками обсерватории возможным и необходимым; стекловары не отказывались говорить о крупном диске. Да и вообще в эти предкризисные годы в стране господствовал дух больших предприятий — были построены «Эмпайр стейтс билдинг», плотина «Боулдер дам», мост через Золотые Ворота и возникал естественный вопрос, почему бы не присоединить к ним еще и гигантский телескоп? Для того, чтобы начать работы, не хватало только денег, и Хэл, не уступая в изобретательности героям О'Генри, начал осматриваться в поисках подходящего миллионера, могущего снабдить его необходимой суммой. «Я считаю, — писал он, — что теперь нужно строить 200- или даже 300-дюймовый телескоп; он будет применяться в астрономии с большой

пользой... Лик, Йеркс, Гукер и Карнеги ушли, но для других жертвователей остается возможность способствовать развитию знаний и удовлетворить собственное любопытство, взглянув в неисследованные глубины Вселенной».

Хэл сумел заинтересовать руководителей фонда Рокфеллера, которые в принципе одобрили проект, но потребовали уточнения стоимости будущего инструмента. Ориентировочная стоимость 5-метрового телескопа составила 6 млн. долларов, и комитет сообщил Хэлу, что на такую сумму он может рассчитывать.

Следующий вопрос состоял вот в чем: как сочетать работу уже финансируемой фондом Карнеги обсерватории со строительством нового инструмента, черпающим средства из другого источника? Ведь без участия квалифицированных астрономов построить хороший телескоп невозможно. Договорились на том, что 5-метровый телескоп будет строиться Калифорнийским технологическим институтом, превращению которого в серьезное учебное заведение способствовал все тот же Хэл, при активном участии (фонд Карнеги не возражал) маунт-вилсоновских астрономов.

Хэл создал комитет по инструменту, чтобы все существенные технические и организационные решения были коллегиальными и научно-техническая политика в отношении инструмента не менялась бы в принципе при смене тех или иных людей. Одним из членов комитета был известный физик А. Милликен.

Проект телескопа широко обсуждался, в обсуждении участвовали все маунт-вилсоновские астрономы, а также видные астрономы других американских и европейских обсерваторий. Комитет по строительству телескопа стал подбирать людей высокой квалификации для разработки отдельных узлов инструмента. Ответственность за важнейшую и наиболее трудную в изготовлении часть телескопа — его оптическую систему, а также за технические вопросы выбора места для установки инструмента была возложена на опытного астронома обсерватории Маунт-Вилсон Джона Андерсона.

Чем крупнее астрономическое зеркало, тем труднее его изготовить. На опыте 60- и 100-дюймовых зеркал своих телескопов калифорнийские астрономы хорошо это поняли.

Опыт работы с 100-дюймовым зеркалом показал, что оно прогревается и остывает довольно медленно. Что же будет происходить при переменах температуры с 5-метровым зеркалом, толщина которого должна составлять не менее 80 см при массе в 40 т? Никто этого не знал. Андерсон сделал расчеты, показывающие, что зеркало будет «приходить в себя» после изменения температуры на 10° в течение суток. По-видимому, придется держать зеркало в течение дня при ожидаемой температуре ночи. Но тут возможны ошибки, поэтому возникла мысль изготовить зеркало из металла, который быстро прогревается и столь же быстро остывает. Однако опыт создания металлических зеркал в первой половине XIX в. показал, что из металла очень трудно сделать зеркало с хорошо обработанной поверхностью. Ричи, работавший тогда в Париже, предложил облегченное зеркало, склеенное из отдельных тонких пластинок стекла, однако склейка представляла серьезные технические проблемы.

Были и менее революционные предложения. Фирма «Корнинг» разработала в это время специальный сорт стекла для изготовления кухонной посуды, не боящейся огня, — пирекс, коэффициент расширения которого примерно в 2,5 раза меньше, чем у применявшихся ранее сортов. И, наконец, можно было попытаться сделать зеркало из плавленного кварца.

Комитет выбрал следующую линию: кварц — пирекс — металл со стеклянным покрытием и чистый металл. Кроме того, Хэл присмотрел в одном из национальных парков подходящую по размеру скалу из вулканического стекла — обсидиана...

Итак, начались работы по изготовлению кварцевой заготовки для 5-метрового зеркала. 75-летний профессор Томсон из фирмы «Дженерал электрик» был полон энтузиазма. «Кварц, — говорил он, — это всего лишь песок плюс энергия». Ни в том, ни в другом недостатка не ощущалось. Будучи еще и астрономом-любителем, Томсон примерно в 1900 г. изготовил небольшое кварцевое астрономическое зеркало и убедился в его исключительной стабильности. Кварц применялся также для химической аппаратуры, не боящейся быстрых изменений температуры и работающей в агрессивной среде. Поэтому когда Хэл приехал в Нью-Йорк заказывать зеркало,

у специалистов фирмы сомнений в его осуществимости не было.

Вначале предполагалось спечь в вакуумной печи диск из кварцевого песка, остудить его, а затем наплавить на его поверхность слой прозрачного кварца из горного хрусталя. Но затем по ряду причин от этого метода отказались. Диск должен был родиться в пламени кислородно-водородных горелок, в которое вдувался порошок кварцевого песка. Однако даже полтораметровый диск Томсону получить не удалось; два образца треснули в печи. Попытка заварить трещину кислородно-водородным пламенем оказалась безуспешной.

Тем временем начались мрачные времена кризиса. О дополнительном финансировании работ по кварцу никто не хотел и слышать, хотя сотрудники «Дженерал электрик» и уверяли астрономов, что успех близок. Осенью 1931 г. работы были прекращены. Эксперименты с кварцем обошлись астрономам в 600 тыс. долларов, но принесли фирме многочисленные идеи, позволившие наладить производство кварцевых зеркал через 20—30 лет, уже в послевоенный период.

Хэл также переживал критический период. Неудача с кварцем и пошатнувшееся здоровье не способствовали оптимизму. Переход к пирексу с его значительно большим, чем у кварца, коэффициентом расширения заставлял опять вернуться к проблемам тепловой стабильности зеркала телескопа. Правда, с технологической точки зрения пирекс не был столь загадочным, как кварц. Он поддавался тем же приемам обработки, что и стекло: его можно было отливать, прессовать и выдувать из него предметы, однако опыт фирмы в этом отношении ограничивался лишь изделиями небольших размеров. Однажды, во время одного из обсуждений возникла идея, позволяющая в какой-то степени примирить астрономов с происшедшим. Было предложено изготовить не сплошной, а ребристый с тыльной стороны диск; при почти такой же, как у сплошного диска, жесткости масса ребристого диска окажется значительно меньшей и, следовательно, вести себя при переменах температуры он будет лучше. Астрономы согласились на это предложение, и фирма «Корнинг» получила заказ на несколько пирексовых ребристых дисков, предназначенных для изго-

товления различных зеркал оптической системы 5-метрового телескопа.

Тем временем в Калифорнии началось эскизное проектирование механической части телескопа; астрономы приступили также к выбору места для установки нового телескопа. Как мы уже говорили, этим занимался Андерсон с помощью совершенно правильной с современной точки зрения методики, но обстоятельства сложились так, что, несмотря на то, что качество изображений на горе Паломар оставляет желать лучшего, телескоп был установлен именно там.

Фирма «Корнинг» нашла удачный огнеупорный материал, из которого должна была быть изготовлена форма для отливки зеркала; со дна формы поднимались выступы, которые создавали пустоты в зеркале, придавая ему ребристую структуру. После нескольких пробных отливок 10 декабря 1933 г. было удачно отлито 120-дюймовое зеркало, которое необходимо было для контроля формы главного зеркала при его изготовлении. 25 мая 1934 г. было отлито 5-метровое зеркало, но один из выступов на дне формы оторвался и всплыл, испортив заготовку. В выступах сделали воздушное охлаждение, и, наконец, 2 декабря 1934 г. отливка получилась удачной. В январе 1936 г. диск был показан публике, а весной этого же года после тщательной подготовки его отправили по железной дороге в Калифорнию. 10 апреля он был на месте.

На примере 5-метрового телескопа мы видим, сколь сложен круг научно-технических проблем, без решения которых невозможно создать высококачественный телескоп, и какой колоссальный труд должны затратить астрономы обсерватории для решения множества вопросов, которые без них не могут быть решены или будут решены неудачно.

Ученые Калифорнийского технологического института активно участвовали в строительстве телескопа. Структуру купола рассчитал известный аэродинамик фон Карман, а трубу — молодой выпускник Серрюрье. Он впервые применил в этой задаче компенсационный принцип — пусть верхний и нижний конец трубы прогибаются относительно ее середины, лишь бы соединяющая их прямая оставалась параллельной самой себе. Лишь при этом

оптическая система телескопа сможет построить резкое изображение объекта вне зависимости от того, в какую часть неба он смотрит. Интересное решение было предложено для подшипников, на которых должен вращаться строящийся гигант. Еще Ричи понимал необходимость исключительно плавного вращения телескопа. 60- и 100-дюймовый инструменты были поставлены им на ртутные подшипники — концы осей плавали в больших резервуарах с ртутью, так что нагрузка на ось была минимальной. Пятиметровый телескоп с движущимися частями весом около 400 т не мог быть установлен таким образом. Поэтому были разработаны подшипники, в которых ось плавала на очень тонком слое магнетического компрессора масла. Такие подшипники не имеют трения покоя и позволяют очень плавно вращать телескоп с любой даже очень небольшой скоростью. Мы знаем, что следуя за движением небесной сферы, телескоп делает один оборот в сутки.

Обработка 5-метрового зеркала велась на обсерватории. Ответственным за обработку 5-метрового диска Андерсон выбрал одного из обсерваторских оптиков М. Брауна, незадолго до этого перешедшего в оптическую мастерскую из гаража. Правда, водителем грузовика он был по необходимости — его очень интересовала оптика и он проводил много времени в обсерваторской оптической мастерской, где ему покровительствовал один из учеников Ричи, участвовавший в свое время в обработке 2,5-метрового зеркала. Старый оптик поддерживал своего добровольного ученика в его стремлениях, рассказывая ему, как он сам начинал делать свои первые зеркала, еще ничего не зная о свойствах стекла. Когда Браун в 1929 г. стал просить Андерсона взять его в оптическую мастерскую, тот долго уговаривал его не делать этого, так как у водителя грузовика работа интереснее и оплата выше. Но Браун настоял на своем. Он подбирал себе помощников по принципу «учитесь делать астрономические зеркала, делая астрономические зеркала». В специально построенной лаборатории с кондиционированным воздухом один из новых сотрудников Брауна обрабатывал свое первое зеркало диаметром 120 см. Другой неопит был поставлен на 90-сантиметровую деталь. Он так боялся повредить ее, что изготовление первого зеркала затяну-

лось на 5 месяцев. Зато второе потребовало лишь четыре недели.

В 1934 г. началась обработка 3-метрового (120-дюймового) плоского зеркала, которое было необходимо как контрольное. Обработка 5-метрового диска началась весной 1936 г. Создание сферического углубления потребовало удаления 5 т стекла.

Изготовление зеркала велось по методу Ричи — большое зеркало делалось сферическим, затем по нему контрольное зеркало доводилось до плоскости, после чего оно параболизировалось. После того как была изготовлена 5-метровая сфера, ее поведение в оправе тщательно исследовали, чтобы быть уверенным в том, что практически весь вес зеркала компенсируется системой рычагов оправы. Это заняло полгода. Лишь после этого обработка была продолжена.

В августе 1941 г. началась параболизация сферы, в октябре она была выполнена на 90% — с края зеркала оставалось снять слой стекла толщиной около 10 мк. На время войны обработка была прекращена, зеркало оставалось в лаборатории, защищенное дощатой крышкой. После Пирл-Харбора Калифорния, по-видимому, не считалась очень безопасным местом.

Обработка возобновилась в начале 1946 г. 1 марта 1947 г. отклонение зеркала от идеальной формы не превосходило 0,5 мк. В октябре 1947 г. 5-метровое зеркало было доставлено на гору Паломар и установлено в телескопе. Модернизация оправы и небольшая ретушь края зеркала заняли около 2 лет. 12 декабря 1949 г. 5-метровый телескоп, получивший впоследствии имя Хэла, был введен в регулярную эксплуатацию.

Как и любая экспериментальная наука, наблюдательная астрофизика базируется на технологическом уровне своей эпохи и своей страны. Мало желания создать высокоэффективный телескоп, надо иметь возможность это сделать. В этом отношении русские ученые дореволюционных лет находились в особенно тяжелом положении; лишь начавшаяся после революции индустриализация страны позволила говорить о модернизации инструментального оснащения отечественной астрономии более серьезно.

ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОФИЗИКА В НАШЕЙ СТРАНЕ

В России астрономические инструменты практически не изготовлялись. После Великой Октябрьской социалистической революции наша астрономия стала интенсивно развиваться; число астрономов возросло в несколько раз, шире стал круг исследуемых проблем, начали разрабатываться новые направления и в первую очередь астрофизика, которой в дореволюционное время занимались только в Пулковской и Московской обсерваториях. Появились новые астрономические учреждения и, разумеется, потребовалось много новых астрономических приборов.

До революции Россия в основном приобретала приборы за границей. По этому пути пришлось вначале пойти и молодой советской астрономии. В 1926 г. на Симеизской обсерватории (в то время филиал Пулково) был установлен метровый рефлектор, изготовленный в Англии. В умелых руках В. А. Альбицкого и Г. А. Шайна этот инструмент сразу же начал эффективно работать; он позволил получить большой спектроскопический материал, в частности, по лучевым скоростям звезд.

История этого инструмента весьма интересна. Вместе с 81-сантиметровым рефрактором по решению Государственной думы в 1912 г. он был заказан английской фирме «Гребб Парсонс». В то время он был бы одним из крупнейших телескопов в мире, уступая лишь двум американским рефлекторам. После революции усилиями Л. Б. Красина заказ на метровый рефлектор и упомянутый рефрактор был возобновлен, но при этом диаметр объектива рефрактора был увеличен до 102 см. От изготовления такого объектива фирма отказалась, сделав лишь механическую часть телескопа. Заказ на объектив, опять уменьшенный до 81 см, был тогда передан отечественной оптико-механической промышленности, возникшей в результате индустриализации нашей страны и создания, соответствующей технической базы. Выполнение этого заказа сыграло важную роль в развитии нашего астрономического приборостроения.

Во время Великой Отечественной войны метровый рефлектор и монтировка 81-сантиметрового рефрактора были разрушены. За границей было закуплено астроно-

мических приборов не менее чем на 1 млн. рублей; помимо упомянутых выше телескопов, советские обсерватории получили пассажные инструменты, приборы для измерения астрономических снимков, универсальные инструменты и гравиметрические приборы.

Советские астрономы, разумеется, понимали, что всего этого недостаточно, и планировали изготовление более крупных и совершенных телескопов силами отечественной промышленности. Понимали они также необходимость строительства на юге нашей страны крупной высокогорной астрофизической обсерватории. За это дело взялся Ленинградский астрономический институт во главе с его директором — талантливым астрономом Б. В. Нумеровым, широкий спектр интересов которого простирался от небесной механики и гравиметрии до астрофизики и астроприборостроения.

Вот что писали в связи с этим в 1932 г. советские астрономы А. В. Марков и В. Б. Никонов: «В 1929 году директор Астрономического института Б. В. Нумеров посетил все американские обсерватории, и в том числе горные обсерватории Маунт-Вилсон и в Аризоне, и пришел к заключению, что самым рациональным и продуктивным использованием инструментов... будет установка их в одной из горных областей юга СССР при условии подыскания при этом такой из них, которая по своей метеорологической характеристике, числу ясных дней и т. п. приближалась бы к тому, что имеется на американских обсерваториях. Решено было заняться приисканием такого места, предварительно используя опыт русских астрономов, ранее занимавшихся поисками места для горной обсерватории, а также производивших астрономические наблюдения в горах».

На совещании астрономов и геофизиков, созванном в это время, было решено обследовать несколько районов на юге нашей страны. В 1930 г. была направлена экспедиция в Нагорный Карабах, в 1931 г. были обследованы Крым, Арагац (Армения), Ош (Ферганская долина), Боржом и Кахетия, а в 1938 г. — Северный Кавказ, Сванетия и некоторые другие районы Грузии. Поиски привели к основанию в 1932 г. Абастуманской обсерватории; ее предполагали оснастить большим рефлектором, солнечным телескопом и светосильным астрографом, но эти планы не были осуществлены.

Кроме Абастуманской обсерватории, в эти годы были организованы обсерватории в Ереване и Душанбе. Для координации усилий по изготовлению телескопов и других астрономических приборов в 1931 г. была организована Комиссия астрономического приборостроения. Астрономической секцией руководил Б. В. Нумеров.

Одной из основных задач комиссии была организация изготовления 81-сантиметрового объектива с фокусным расстоянием 900 см для уже упоминавшегося выше рефрактора Пулковской обсерватории. Перед отечественной стекловаренной промышленностью была поставлена трудная по тем временам задача — изготовить для этого объектива диски оптического стекла диаметром 85 см и толщиной 10 см. Через комиссию проходили также заказы по изготовлению оптики большого Пулковского солнечного телескопа.

Помимо этого, комиссия занималась сбором пожеланий астрономов, установлением спецификаций и технических условий на изготовление стекла и перспективным планированием астрономического приборостроения. Вот некоторые из астрономических инструментов, изготовление которых было запланировано этой комиссией;

Рефлектор диаметром 150 см	1
Рефлекторы диаметром 100 см	2
Рефлекторы диаметром 60 см	2
Рефлекторы диаметром 30 см	3
Рефрактор диаметром 81 см (окончание)	1
Фотографический рефрактор диаметром 50 см	1
Длиннофокусные спектрографы	3
Солнечные телескопы	2
Солнечные установки для наблюдения затмений	5

Осуществление этой программы было бы, несомненно, эпохальным событием в нашей астрономии. Однако в то время эта программа была, по-видимому, еще недостаточно подкреплена общим уровнем развития нашей промышленности; кроме того, ряд обстоятельств предвоенного периода, а затем война задержали ее выполнение. Тем не менее в 1932 г. в мастерских Ленинградского астрономического института, организованных в 1928 г., было закончено изготовление предназначенного для Абастуманской обсерватории 30-сантиметрового рефрактора. К затмению 1936 г. Астрономический институт изготовил

шесть так называемых стандартных коронографов диаметром 10 см и с фокусным расстоянием 5 м, а Государственный оптико-механический завод — пять целостатов. В 1941 г. начал работать Пулковский горизонтальный солнечный телескоп конструкции Н. Г. Пономарева.

Большую роль в развитии отечественного телескопостроения сыграли работы замечательного советского оптика, изобретателя и конструктора Д. Д. Максудова (1896—1964). В это время он изготовил оптику камер Шмидта с коррекционными пластинками диаметром 40 и 30 см; механику 40-сантиметрового инструмента выполнили в мастерских Казанской обсерватории, для которой предназначался данный инструмент. В руках опытного наблюдателя этот телескоп и сейчас позволяет получать превосходные снимки. Механика 30-сантиметрового телескопа Шмидта, изготовленная в Астрономическом институте для Ташкентской обсерватории, погибла во время войны. Д. Д. Максудов изготовил для Ереванской обсерватории 40-сантиметровый апланатический рефлексор. Н. Г. Пономарев и И. И. Гребенщиков разрабатывали в это время идею легких сварных зеркал, которая считается весьма многообещающей и в настоящее время.

На Государственном оптико-механическом заводе была создана специальная конструкторская группа астрономического приборостроения во главе с Н. Г. Пономаревым. Эта группа приступила к подготовке проектирования большого рефлексора, но работа ее была прервана войной, во время которой Н. Г. Пономарев погиб.

К довоенному периоду относятся первые шаги отечественной электрофотометрии. Первые опыты этого рода были проведены в 1933 г. В. Б. Никоновым в Пулкове. В 1938 г. В. Б. Никонов и П. Г. Куликовский построили электрофотометр с фотоэлементом и испытали его на абастуманском рефлексоре. Примерно в это же время Н. Н. Павлов в Пулкове стал регистрировать прохождение звезд на пассажном инструменте, снабженном фотоэлементом. В Центральном научно-исследовательском институте инженеров геодезии и картографии П. С. Попов построил кварцевые часы.

Нападение фашистской Германии на нашу страну нанесло советской астрономии огромный ущерб. Были

уничтожены Симеизская и Пулковская обсерватории; разрушены метровый рефрактор и монтировка 81-сантиметрового рефлектора, только что законченный горизонтальный солнечный телескоп конструкции Н. Г. Пономарева, здания и башни. Однако основные астрометрические инструменты Пулковской обсерватории и часть ее библиотеки все же удалось спасти.

Война заставила советскую астрономию мобилизовать свои силы для помощи фронту. Многие астрономы воевали; была усилена работа обсерваторий, снабжавших страну точным временем. Во время войны Д. Д. Максудов сделал крупное изобретение, сильно повлиявшее на развитие астроприборостроения в нашей стране. Речь идет о простых в изготовлении (все оптические поверхности сферические) менисковых системах, позволивших создать много различных астрономических приборов.

После войны началось восстановление разрушенных обсерваторий и строительство новых. Симеизская обсерватория отделилась от Пулковской и стала самостоятельным учреждением — Крымской астрофизической обсерваторией АН СССР. Было, однако, решено, что ее строительство целесообразнее вести на новом месте, которое было очень быстро выбрано вблизи Бахчисарая. Обсерватория получила 122-сантиметровый рефлектор Цейсса и двойной 40-сантиметровый астрограф.

Пулковская обсерватория восстанавливалась на старом месте, но была значительно расширена. Первая очередь обсерватории была торжественно открыта в 1954 г.

После войны организовано несколько новых обсерваторий. В Алма-Ате начали работать возглавляемый В. Г. Фесенковым Астрофизический институт и Сектор астроботаники под руководством Г. А. Тихова. Вблизи Еревана, в Бюракане, началось строительство астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР. В 20 км от Кисловодска появилась Горная астрономическая станция Пулковской обсерватории.

В Голосеевском лесу, недалеко от Киева (теперь в черте города), была построена Главная астрономическая обсерватория Академии наук Украинской ССР (ГАО) первоначально астрометрического направления. Вблизи Шемахи, в 150 км от Баку, создана обсерватория Академии наук Азербайджанской ССР. Была расширена об-

серватория Московского университета, переведенная на Ленинские горы.

На Дальнем Востоке, в Уссурийске, была организована солнечная станция, а Сибирское отделение АН СССР построило солнечную обсерваторию вблизи Иркутска.

На Урале строится обсерватория Свердловского университета.

С потерей симеизского рефлектора советские астрономы опять остались без крупного астрофизического телескопа. Поэтому сразу же после войны было решено заказать два больших телескопа (диаметр 170—200 и 120 см) в США. Однако из-за осложнения международных отношений начатые переговоры были прерваны. Неудачно закончилась и попытка заказать 185-сантиметровый телескоп в Англии. Стало ясно, что рассчитывать можно лишь на свои силы. В 1954 г. было принято решение силами отечественной промышленности изготовить телескоп с диаметром зеркала 260 см. Эта работа потребовала новых мероприятий—ведь до тех пор у нас изготовлялись зеркала диаметром лишь немногим больше метра, а трудности изготовления растут пропорционально высокой степени диаметра телескопа. Работу возглавило конструкторское бюро под руководством Б. К. Иоаннисиани, начинавшего в свое время работу у Н. Г. Пономарева. Была осуществлена реконструкция некоторых стекловаренных заводов, создана специальная шлифовальная машина; в работе участвовало много специализированных предприятий. В 1961 г. этот телескоп, получивший имя покойного Г. А. Шайна, был установлен на Крымской обсерватории.

Тем временем уже в 50-е годы оптико-механическая промышленность изготовила несколько инструментов, в какой-то степени возмещивших утраченные во время войны приборы. Под руководством Б. К. Иоаннисиани в ГОИ было изготовлено два небулярных спектрографа для Симеизской и Бюраканской обсерваторий, несколько экспедиционных бесщелевых кварцевых спектрографов АСИ-5. Для Симеизской обсерватории была смонтирована уже имевшаяся оптическая система диаметром 64 см и светосилой 1 : 1,4. К этому же времени относится изготовление в ГОИ двух крупных менисковых телескопов: 50-сантиметрового для Алма-Атинской обсерватории и 70-сантиметрового с объективной призмой для

Абастумани. Несколько позже на ГОМЗ была изготовлена 50-сантиметровая максутовская камера АЗТ-5 для ГАИШ. И, наконец, следует отметить недавно изготовленный 70-сантиметровый астрометрический астрограф системы Д. Д. Максудова. Простота изготовления систем Д. Д. Максудова привела к их признанию и в других странах. В настоящее время в США, например, по этой схеме строится много 20—30-сантиметровых телескопов.

64-сантиметровая камера дала возможность Г. А. Шайну и В. Ф. Газе провести большой цикл работ по исследованию эмиссионных туманностей.

Туманности фотографировались через сравнительно узкий фильтр в свете линии водорода H_{α} , фон неба при этом подавлялся. Методика оказалась весьма эффективной — с ее помощью крымские исследователи открыли множество новых газовых туманностей в Млечном Пути и других галактиках.

Установленный на Алма-Атинской обсерватории (изготовлен в ГОИ) 50-сантиметровый максутовский телескоп светосилой 1:2,5 также использовался для изучения структуры газовых и газо-пылевых туманностей (В. Г. Фесенков и Д. А. Рожковский).

Семидесятисантиметровый максутовский телескоп Абастуманской обсерватории с автоматическим управлением может работать с объективной призмой. Из инструментов этого же рода нельзя не упомянуть о телескопе системы Шмидта с диаметром коррекционной пластинки 100 см, установленном на Бюраканской обсерватории.

В 1948 г. А. Б. Северный и А. Б. Гильварг рассчитали и изготовили первый в СССР интерференционно-поляризационный светофильтр, позволяющий наблюдать и кинематографировать солнечные протуберанцы и хромосферу.

Хотя основой современной наблюдательной астрономии являются крупные рефлекторы, мы, описывая развитие оснащения нашей астрономии, не можем не упомянуть об инструментах, кажущихся нам теперь небольшими. Во-первых, солнечные и астрометрические приборы, которыми оснащены многие наши обсерватории, и не бывают очень большими. Во-вторых, нельзя забывать, каким событием, скажем, в довоенный период и в первые годы после войны было появление на обсерватории, долго не получавшей нового оборудования, даже не-

большого телескопа. Новый инструмент всегда приводит к появлению новых программ наблюдений, дает возможность решать задачи, недоступные старым инструментам, он требует привлечения новых людей для его обслуживания и обработки результатов — одним словом, его появление активизирует всю жизнь обсерватории.

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Говоря о развитии наземной оптической астрономии, нельзя не остановиться на использовании новейших достижений фотоэлектроники. Пионерские работы по применению в астрономии электронно-оптических преобразователей были выполнены крымскими астрономами.

Лето 1949 г. было напряженным периодом в жизни астрономов Симеизской обсерватории, расположенной на горе Кошка в 25 км от Ялты. Разрушенная во время войны обсерватория быстро восстанавливалась. Правительство выделило средства для значительного ее расширения и переоборудования. Коллектив рос, инструментарий пополнялся, но ничто не могло пока восполнить потерю погибших во время войны астрономов и прекрасного по своим оптическим качествам метрового рефлектора, уничтоженного при попытке вывезти его в Германию. Директор обсерватории Г. А. Шайн, вся жизнь которого как астронома была связана с Симеизской обсерваторией, всячески стимулировал развитие новых направлений астрофизических исследований — стали совершенствоваться методы исследования Солнца, развертывались электрофотометрические исследования, велось изучение слабых газовых туманностей.

В это время на обсерватории начались исследования, привлекая всеобщее внимание. Небольшой прибор, работавший в невидимых лучах, требовал для своего функционирования напряжения в 20 тыс. в и температуры -78° , несколько необычной для крымского лета. Фотографировали с его помощью звездные облака Млечного Пути в созвездии Стрельца и спектр свечения ночного неба. Таинственный аппарат обслуживали московский физик В. И. Красовский с помощниками, крымский астроном В. Б. Никонов и сотрудник Пулковской обсерватории А. А. Калиняк.

Читатель, по-видимому, догадался, что речь идет о чувствительном в инфракрасных лучах электронно-оптическом преобразователе, который в те времена действительно был загадочной новинкой.

Вскоре, однако, результаты электронно-телескопических наблюдений перестали быть достоянием узкого круга симеизских астрономов; первые же публикации показали, что переход в новую, слабо исследованную тогда инфракрасную область спектра принес обильные плоды. Фотографирование области центра нашей Галактики, который находится в направлении созвездия Стрельца, показало присутствие рядом с большим звездным облаком, хорошо видимым невооруженным глазом, еще одного, почти такого же по размерам, но наблюдаемого только в инфракрасных лучах. Очевидно, оно закрыто слоем поглощающей межзвездной пыли, сильно уменьшающей ее яркость в видимой части спектра.

Снимки области галактического центра были тщательно измерены Е. К. Никоновой, которая, учтя все характеристики прибора, получила истинное распределение инфракрасной яркости в изучаемой области неба. Оказалось, что оба облака — видимое и инфракрасное — являются частью одного большого облака звезд — центрального вздутия нашей Галактики. По инфракрасному снимку удалось оценить, сколько межзвездной пыли находится между нами и этим облаком. В общем, первые же электронно-телескопические снимки внесли свой вполне ощутимый вклад в изучение нашей Галактики.

Спектральные снимки также оказались весьма интересными. На них были обнаружены линии и полосы свечения верхней атмосферы, никогда ранее не регистрировавшиеся; после некоторой дискуссии они были отождествлены со свечением радикала ОН в верхней атмосфере Земли.

Результаты привлекли внимание мировой астрономической общественности. Ситуация в какой-то степени напоминала ту, которая возникла после запуска первого искусственного спутника Земли, ведь на Западе электронно-оптические приборы для астрономических исследований еще не применялись. В рамках Международного астрономического союза была организована комиссия по преобразователям изображений, задачей которой было обобщение опыта применения этого многообещающего

нового метода. Систематические усилия ученых многих стран принесли свои плоды, и лет через 10 после пионерских опытов советских исследователей появились технически отработанные серийные устройства, которые можно было без большого труда установить на уже имеющиеся телескопы и спектрографы, сильно повысив их эффективность. Не обошлось, правда, без курьезов — иногда применение электронно-оптического преобразователя ухудшало, а не улучшало эффективность астрономического прибора. Но дорога ученого чаще всего не усыпана лаврами, а процесс отыскания новых фактов не всегда идет по рассчитанной прямой...

Так или иначе были проделаны расчеты, которые на основе теории информации показали, в каких случаях применение ЭОПа целесообразно, в каких — нет. Технологи добились снижения мешающих эффектов этих вакуумных приборов, а астрономы в тесном взаимодействии с теми и другими выяснили оптимальные области применения новой техники. В результате в настоящее время спектров слабых объектов без электронно-оптических преобразователей никто не снимает; применение их для прямого фотографирования считается весьма многообещающим.

Остановимся теперь на принципе действия электронно-оптического преобразователя. Простейший прибор такого рода представляет собой стеклянную колбу с вакуумом внутри, на две противоположные плоские стенки которой нанесены фотокатод — светочувствительный слой, испускающий электроны, и флуоресцирующий экран, похожий на телевизионный. Между фотокатодом и экраном приложено ускоряющее напряжение в 10—20 кВ, поэтому фотоэлектроны, выбитые светом, достигают экрана с значительными скоростями, вызывая его свечение. Так как энергия одного ускоренного электрона равна энергии нескольких тысяч квантов света, мы получаем значительный выигрыш в яркости, несмотря на то, что экран обладает сравнительно небольшим к. п. д. и рассеивает излучение во все стороны, что затрудняет его переброску на фотопластинку. Так как цвет свечения экрана мы можем выбрать любым, равно как и спектральную чувствительность фотокатода, в подобном приборе можно легко осуществить преобразование излучения одного спектрального интервала в другой. Но этого мало.

Конструкция электронно-оптического преобразователя делается такой, чтобы на экране получалось электронное изображение катода. Для этого мы пользуемся методами электронной оптики — науки о движении электронов в электрических и магнитных полях. Создав внутри электронно-оптического преобразователя соответствующую комбинацию электрических и магнитных полей, можно построить на экране очень четкое изображение фотокатода и, следовательно, предметов, изображение которых на него спроектировано.

Электронно-оптические преобразователи можно ставить последовательно, при этом коэффициент усиления такой системы может оказаться очень большим. Один фотоэлектрон, покинувший первый фотокатод, дает в подобном приборе вспышку на последнем экране, которую можно легко заметить глазом или сфотографировать. Таким образом можно создать идеальный приемник изображения, способный регистрировать предельно слабые изображения (для получения одного фотоэлектрона на современный фотокатод нужно направить от 2 до 100 фотонов). Успех применения первых ЭОПов в инфракрасной области спектра объясняется именно этим обстоятельством. Чувствительность фотоэмульсий для инфракрасных лучей исключительно низка, по сравнению с ней квантовый выход соответствующего фотокатода (1—2%) оказывается весьма значительным. В видимой области спектра фотоэмульсии значительно лучше и конкурировать с ними значительно труднее даже при квантовом выходе фотокатодов в 10—20%. Следовательно, электронно-оптический преобразователь легче всего применить для научных целей в инфракрасной области спектра. Да эти приборы и разрабатывались в основном для нее; хорошо известно, что ЭОПы применяются в приборах ночного видения, первые образцы которых появились во время войны, будучи разработанными совсем не для астрономических наблюдений.

Инфракрасные преобразователи изображения оказались достаточно совершенными и почти сразу стали применяться для геофизических исследований — спектроскопии ночного неба в инфракрасной области. В видимой же области еще в течение нескольких лет фотографические эмульсии оставались вне конкуренции. Мы теперь знаем, что это произошло из-за того, что они явля-

ются более совершенными приемниками изображения и что с ними трудно соревноваться. Но ЭОПы для видимой области спектра совершенствовались и постепенно началось их применение для астрономических наблюдений.

Первое применение высокочувствительного ЭОПа для фотографирования звезд окончилось не совсем удачно: снимки получались быстро, в десятки раз быстрее, чем при обычном фотографировании, но плохо — видны были только яркие звезды, слабые же терялись на фоне свечения ночного неба. Теперь мы понимаем причину этой «потери качества при выигрыше темпа». Проникающая способность телескопа, как мы уже знаем, обратно пропорциональна диаметру изображения звезды (а не очень совершенные ЭОПы, применявшиеся 15 лет назад, заметно размазывали изображения) и корню квадратному из времени экспозиции (а ЭОП ее сильно сокращает!). Следовательно, подобная установка годится для того, чтобы быстро сфотографировать не очень слабый объект, например искусственный спутник Земли или Луны.

Понять, почему ЭОП с высоким усилением не всегда может помочь обнаружению предельно слабых объектов, можно из весьма простого примера. Предположим, что у нас есть картина с большим информационным содержанием — ну хотя бы репинские «Запорожцы», и нам нужно изобразить ее в виде мозаики из черных и белых камешков определенного размера. Разумеется, если камни крупные, скажем, в $1/100$ длины картины, ее содержание окажется переданным весьма и весьма приблизительно, полутона исчезнут (у нас только черные и белые камни) и многие детали пропадут. Что же нужно для более подробного воспроизведения картины? Необходимо заменить камни мозаики на значительно более мелкие и добавить полутоновые серые разной густоты элементы. Очевидно, мы сможем в этом случае воспроизвести картину гораздо более подробно; многие мелкие детали, изображенные на оригинале, появятся на его мозаичной копии.

Фотографирование через ЭОП с очень большим усилением напоминает передачу картины в виде мозаики из белых (электрон есть) и черных (электрона нет) камней. Два электрона, попавших в одну точку, изображаются практически как один. Информационное содержа-

ние картины при этом резко снизится. ЭОП с меньшим усилением позволит зарегистрировать полутона, но экспозиция при этом окажется больше. В астрономии сложилось правило — в случае достаточно сложных изображений (а фотография звездного неба относится к этому виду информации) следует строить картину максимально возможным числом фотонов. При этом мы сможем измерять яркости с очень малой ошибкой и, в частности, выявлять на фоне свечения ночного неба слабые объекты. Здесь мы строим мозаику из большого количества мелких камешков.

В других задачах по регистрации слабых свечений ситуация может оказаться иной. Так, в ядерной физике бывает необходимо проследить путь частицы в кристалле сцинтиллятора. На всем протяжении траектории излучается всего лишь несколько десятков фотонов, поэтому усиление ЭОПа может быть сколь угодно большим — несколько светлых пятнышек на его экране совершенно точно покажут путь частицы. Очевидно, что ЭОП, предназначенный для подобных наблюдений, в астрономии применять не следует.

Теперь это все «дела давно минувших дней», так как для быстро развивающейся электроники события, происходившие 5—7 лет назад, являются уже довольно древней историей. Современные оптико-электронные системы для регистрации слабых астрономических спектров и изображений являются высокосоввершенными приборами, эффективность которых близка к предельно возможной, определяемой лишь квантовым выходом фотокатода. Электронно-оптическая система, практически не искажающая изображения и не дающая сколько-нибудь заметного собственного фона, превращает каждый фотон в яркую вспышку на выходном экране усилителя. Изображение этого экрана проектируется на мишень телевизионной трубки, считывающий луч которой управляется ЭВМ, он заштриховывает мишень строками, подобно обычному телевизионному передатчику. Правда, в каждый момент компьютер «знает», где находится луч. Если в этот момент луч «наталкивается» на яркое пятно, вызванное попаданием фотоэлектрона, в память машины идет сигнал: «в точке с координатами x , y в момент t был фотоэлектрон». В течение всей экспозиции электроны, соответствующие данной точке изображения, сумми-

руются в соответствующей ячейке памяти ЭВМ. У такой системы нет насыщения, как у фотоэмульсии, память машины можно сделать достаточно емкой. Подобные устройства окажутся способными в ближайшем будущем регистрировать изображения размером 500×500 строк, накапливая по 10 тыс. фотоэлектронов в каждом элементе изображения. Благодаря более высокому, чем у фотоэмульсий, квантовому выходу и большему времени экспозиции эти приборы позволят обнаружить более слабые, чем фотография, объекты.

Но уцелее ли в борьбе с ними классическая астрономическая фотография? Безусловно, да. Ни одному электронному устройству не удастся в настоящее время даже отдаленно приблизиться по способности накапливать информацию к астрономической фотоэмульсии. Астрономический негатив размером 36×36 см, полученный на камере Шмидта или современном телескопе Ричи — Критъена, содержит примерно 10^9 единиц информации по сравнению с $2,5 \cdot 10^5$ единиц у очень хорошего электронного приемника. Характеристики фотоэмульсий непрерывно улучшаются, чувствительность растет, начинают создаваться эмульсии с заданными свойствами — все это говорит в пользу того, что в обозримом будущем фотография не уступит своей молодой сопернице, а поможет ей в сочетании с первоклассными оптическими системами обнаруживать все более и более слабые объекты.

Не прошла мимо наземной оптической астрономии и эпоха исследования космоса.

4 октября 1957 г. в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли, и перед астрономами встали два вопроса — каким образом наблюдать ИСЗ с поверхности Земли и что представляющее интерес для астрономии наблюдать с него. То, что уже примерно через полгода на орбиту выводились объекты весом в сотни килограммов, показало, что намерения здесь вполне серьезны и что космонавтика не ограничится запуском малых объектов. Стало ясно, что на спутники можно поставить достаточно сложную и тяжелую аппаратуру и она будет работать. Ракетная и спутниковая астрономия интенсивно развивается и уже достигла многого — она открыла современной астрофизике новые спектральные диапазоны: гамма, рентгеновский и ультрафиолето-

вый, а также средне- и длинноволновый в области радиочастот. Что касается видимой области спектра, то здесь орбитальный телескоп не является, как мы уже видели, конкурентом наземного — эффективность их почти одинакова при различии стоимости примерно в 100 раз. Поэтому мы не станем подробно описывать исследования с борта искусственных небесных тел, посмотрим лучше, какими методами эти объекты наблюдают с поверхности Земли.

Хотя о предполагаемом запуске ИСЗ было объявлено как в СССР, так и в США (вспомним эмблему МГГ), астрономы не разрабатывали вопросы наблюдений этого объекта достаточно глубоко. На первых порах предполагалось ограничиться визуальными наблюдениями в небольшие зрительные трубы и фотографированием на стандартных аэрофотокамерах. Правда, американские ученые, рассчитывая на наблюдения своего небольшого (и, следовательно, слабого) спутника, разработали специализированную светосильную камеру сравнительно большого диаметра с точной отметкой времени и установили 12 таких приборов в экваториальной полосе. Наблюдения за движением ИСЗ позволяют решать по крайней мере три группы задач — изучение плотности верхней атмосферы и ее изменений, исследование гравитационного поля Земли и геодезические задачи. Для всех них необходимы точные положения ИСЗ, привязанные к системе единого времени. Радиотехнические методы дают, разумеется, массовый материал по расстояниям и скоростям искусственных небесных тел, но полностью оптические измерения они заменить не могут.

Угловые измерения координат ИСЗ представляют то неудобство, что на них сильно влияет нестабильность земной атмосферы (астроклимат), поэтому в последнее время астрономы начинают переходить к измерению расстояния до летящего спутника от наземной станции с помощью лазерного дальномера. Теория распространения света в атмосфере и результаты измерений показывают, что здесь можно ожидать значительно большей относительной точности, чем при угловых измерениях. Атмосфера оказалась значительно стабильнее «вдоль» — в направлении луча зрения, чем «поперек». Этот интересный факт впервые отметил А. Майкельсон, измерявший на обсерватории Маунт-Вилсон угловые размеры

звезд с помощью двухлучевого перископического интерферометра.

Для того чтобы спутник ярче светился при освещении его лазером, на нем устанавливаются панели с угловыми отражателями, подобными тем, которые были доставлены на Луну советскими и американскими космическими аппаратами. Световая локация ИСЗ проводится с помощью сравнительно небольших специализированных телескопов, способных сопровождать спутник в его движении по небу. Эти инструменты достаточно подвижны, их можно установить в любой интересующей нас точке земного шара. Если наблюдать один и тот же спутник одновременно из двух пунктов, можно уточнить расстояние между ними; возможно, что эта методика, дающая возможность измерить расстояние между континентами с ошибкой всего в несколько метров, позволит, наконец, ответить на уже давно интересующий астрономов вопрос о том, движутся ли материки. Для решения этой же задачи могут использоваться отражатели, установленные на поверхности Луны (сейчас их уже несколько). Правда, при современном уровне лазерной техники здесь приходится вести наблюдения с помощью стационарных астрономических телескопов сравнительно большого диаметра.

Когда в 1958 г. был поставлен вопрос о посылке межпланетной станции к Луне, советский астрофизик И. С. Шкловский предложил выпустить с ее борта на значительном расстоянии от Земли облако паров натрия. Светясь в солнечных лучах, это образование должно было иметь значительную яркость, во много тысяч раз превышающую яркость самой межпланетной станции. Такое образование делало полет станции «Луна» доступным наблюдению с помощью весьма простых наземных телескопов. Появлялась возможность определить высокоточные координаты весьма удаленного космического объекта.

Натриевая аппаратура была установлена на станциях «Луна-1» и «Луна-2»; наблюдения второй из них были особенно успешными. Многочисленные снимки, полученные различными обсерваториями СССР, позволили определить точный момент срабатывания натриевого испарителя, координаты станции и скорость разлета натриевого облака в вакуум.

В дальнейшем идея искусственной кометы (такое название было дано натриевому облаку) претерпела эволюцию. Возникла мысль, что для исследования межпланетных магнитных полей и солнечного ветра целесообразно «изготовить» комету не из нейтральных атомов натрия, как это делалось для визуализации полета АМС, а из ионов. Заряженные частицы будут дрейфовать в магнитном поле определенным образом (вдоль силовых линий), что даст возможность проследить его направление. Затруднение состояло в том, как эти ионы получить — если делать это нагревом, потребуется очень высокая температура. На помощь было призвано Солнце. Сейчас хорошо известно, что его спектр в ракетном ультрафиолете, не наблюдаемом с поверхности Земли, весьма богат сильными линиями излучения. Поэтому облако нейтральных паров металла (были выбраны барий и стронций) будут постепенно ионизоваться солнечным излучением. Так как нейтральная компонента облака светится одним цветом, а ионизованная — другим, цветной снимок ионной искусственной кометы сразу показывает нам степень ионизации облака и направление магнитного поля в точке, где его образовали.

Этот исключительно красивый эксперимент уже несколько раз производили на различных удалениях между Землей и орбитой Луны. Для наблюдения ионных комет применяется весь арсенал наземной астрономии — высокочувствительные черно-белые и цветные фотоматериалы, электронно-оптические преобразователи и телевизионные системы, а также узкополосные интерференционные светофильтры.

ВНЕЗАТМЕННЫЙ КОРОНОГРАФ

В 1930 г. обсерватория Пик дю Миди, расположенная на изолированной вершине высотой около 2800 м во французских Пиренеях, уже отметила свое сорокалетие. История возникновения ее довольно интересна. В 1871 г., после окончившейся поражением Франции войны, в курортном городке Баньере появился отставной генерал Нансути, отправленный на пенсию по возрасту. В это время в Баньере уже существовало небольшое общество любителей астрономии, которое подумывало организовать на вершине Пик дю Миди, гордо возвышавшейся

над окружающими горами, обсерваторию. Справедливость требует, однако, отметить, что этим пунктом интересовались и ранее. Во времена Людовика XIII тулузский ученый де ла Плантад пытался проводить на вершине астрономические наблюдения, но погиб. Позже знаменитый Леверрье и Джон Гершель поддерживали идею начать на Пик дю Миди астрономические наблюдения, однако до реальных шагов дело не дошло — не хватало человека, который достаточно серьезно и энергично взялся бы за дело. Этим энтузиастом и оказался отставной генерал, посвятивший с неослабевающей энергией 25 лет своей жизни осуществлению проекта.

В 1878 г. приступили к строительству здания на вершине, а в 1881 г. начали метеорологические наблюдения. В 1882 г. обсерватория переходит в ведение Тулузского университета, которому принадлежит до сих пор. В 1906 г. на обсерватории Пик дю Миди устанавливают рефрактор с фокусным расстоянием 6 м, и тут выясняется, что спокойствие атмосферы здесь исключительное, однако этим обстоятельством никто особенно не интересуется — широкий спектр научных интересов сотрудников обсерватории включает в себя, кроме метеорологии, пока еще исследование атмосферного электричества и высокогорную ботанику. В отсутствие энтузиазма у астрономов немаловажную роль сыграли и трудности существования на изолированной вершине, связанной с ноября по июнь с обитаемым миром лишь лыжной тропой. Однако в 1930 г. с обсерваторией Пик дю Миди связал свою судьбу один из выдающихся французских астрономов — Бернар Лио.

Выпускник парижской электротехнической школы, Бернар Лио был астрономом по призванию. В школьные годы он собрал самодельный телескоп и делал зарисовки небесных объектов, но затем по настоянию отца занялся изучением электротехники. Во время первой мировой войны он работал над системой радиопеленгации и слепой посадки самолетов, здесь его заметил один из выдающихся французских оптиков А. Перо, который тогда также работал на оборону, и оценил исключительное искусство молодого экспериментатора. Он предложил Лио работать у него препаратором в Политехнической школе. Перо работал также в Парижской обсерватории; он не замедлил представить астрономам своего нового

сотрудника как исключительно искусного и богатого идеями экспериментатора. Лио получил, таким образом, доступ к астрономическим инструментам, а в летние каникулы даже возможность наблюдать.

Лио занимался усовершенствованием поляриметра Савара — небольшого визуального прибора, который позволяет обнаружить в естественном свете примесь поляризованного, т. е. имеющего предпочтительное направление колебаний. Чувствительность прибора удалось поднять на порядок — он позволял измерять добавку поляризованного света в $1/1000$. С помощью нового поляриметра Лио измерил поляризацию Венеры, Марса, Луны и Меркурия. Подобные измерения дают некоторые сведения о свойствах планетных атмосфер и веществ, покрывающих их поверхность. Дальнейшее направление исследований было подсказано молодому ученому хорошо известным французским оптиком Шарлем Фабри, который заметил, что поляриметр следовало бы применить для обнаружения солнечной короны вне затмений — ведь ее свет, как известно, из затменных наблюдений поляризован. Лио энергично занялся новой проблемой и сразу же обнаружил, что для внезатменного наблюдения солнечной короны необходимо прежде всего избавиться от рассеянного света атмосферы и телескопа, так как корона маскируется в миллион раз более ярким излучением солнечного диска. Что касается атмосферы, то ничего лучше обсерватории Пик дю Миди во Франции найти было нельзя, и летом 1930 г. Лио поднялся на вершину с новым прибором, сконструированным им специально для наблюдений короны и получившим впоследствии название внезатменного коронографа.

Создание такого прибора оказалось, однако, непростой задачей. Дело в том, что даже самый лучший объектив рефрактора дает гораздо больше рассеянного света, чем атмосфера над Парижем. Лио изготовил специальный объектив в виде одиночной плоско-выпуклой линзы из отобранного куска стекла без пузырьков и тщательно отшлифовал его. Но на этом затруднения не кончились. Дифракция света на краях объектива и отражения от его поверхностей создавали рассеянный свет, количество которого значительно превосходило яркость короны. Пришлось с помощью вспомогательной линзы построить изображение объектива и затем диафрагмами,

закрывающими края и центр его изображения, убрать мешающие блики. Только после этого прибор стал удовлетворять поставленным требованиям.

29 июля 1930 г. Лио присоединил свой поляриметр к коронографу и установил, что поляризация неба растет при приближении к краю Солнца, более того, степень поляризации меняется при обходе вокруг солнечного диска, она максимальна в экваториальных областях. Сомнений не оставалось — поляризация солнечной короны была зарегистрирована вне затмения.

30 июля к коронографу был присоединен спектроскоп, и известная по затменным наблюдениям зеленая линия тринадцатикратно ионизованного железа (тогда еще она называлась линией неизвестного элемента корония) оказалась хорошо наблюдаемой невооруженным глазом. Началась эра внезатменных наблюдений солнечной короны.

Одного изобретения внезатменного коронографа было бы вполне достаточно, чтобы создать имя молодому астрофизику, но Лио на этом не остановился. Построив 20-сантиметровый внезатменный коронограф (первый прибор имел диаметр всего 8 см), он смонтировал на нем большой спектрограф, с помощью которого открыл пять ранее неизвестных корональных линий, измерил их точные длины волн и уточнил длины волн известных по затменным наблюдениям корональных линий, чем немало способствовал правильному их отождествлению. Кроме того, он разбил линии на три группы по приблизительно одинаковому распределению их яркости, что было уже замечено и по затменным наблюдениям.

Пользуясь этими данными, шведский физик Эдлен отождествил корональные линии с излучением высоковозбужденных ионов самых обычных элементов — железа, никеля, кальция и тем самым положил конец мифу о загадочном коронии, точно таким же образом, как спектроскописты объяснили незадолго до этого спектральные линии другого таинственного элемента небулия спектром дважды ионизованного кислорода. Тем самым был однозначно доказан факт высокой, достигающей 1—2 млн. градусов температуры солнечной короны, факт, имеющий весьма далеко идущие последствия для физики межпланетного пространства, верхней атмосферы Земли да и самой гелиофизики. Кинематографируя солнечные протуберанцы через созданный Лио узкополос-

ный фильтр для линии излучения водорода, можно было с удивлением изучать поведение этих сравнительно холодных по астрономическим понятиям (температура около $10\,000^\circ$) образований, в течение длительного времени уживающихся с в сотни раз более сильно нагретой корональной плазмой. Причудливое движение этих образований показало, что солнечное притяжение не всегда является определяющим фактором их поведения. Эти наблюдения способствовали развитию соображений, приведших к созданию магнитной гидродинамики. И одна из идей, положенных в основу термоядерных реакторов будущего, способных утолить все возрастающий энергетический голод человечества, безусловно, возникла из астрономических наблюдений.

Лио умер в 1952 г. в Каире, куда он ездил наблюдать полное солнечное затмение 25 февраля. Наблюдения прошли успешно, было открыто несколько новых корональных линий...

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Когда 5-метровый телескоп вошел в строй, известного английского астрофизика А. Эддингтона спросили, что он ожидает от нового инструмента. «Его создание, — ответил он, — событие огромной важности для астрономов. Я не жду от нового телескопа сенсационных результатов немедленно. Я предполагаю, однако, что на протяжении ближайшего десятилетия наши познания продвигнутся еще на один шаг по всему фронту развития астрономии — в области звездной астрономии, исследования туманностей и может быть в других ее разделах. По-видимому, некоторые из этих шагов будут бесцельными, но кое-где лишний шаг окажется именно тем, что нужно, чтобы заглянуть за угол».

Современная эпоха развития наземной оптической астрономии значительно превосходит по своим масштабам и результатам первые послевоенные годы, когда были написаны приведенные выше строки. Действительно, в ближайшие годы в строй входят восемь современных телескопов диаметром более 3 м, по крайней мере половина из которых превзойдет по эффективности своего 5-метрового предшественника. Наземная астрономия ста-

нет «дальнейшее» в 10 раз, мы сможем наблюдать оптические объекты данной светимости на вдесятеро большем расстоянии. Объем пространства, доступного исследованию, возрастет таким образом в 1000 раз для объектов данного класса. Нет сомнения, что при этом будут обнаружены совершенно новые неожиданные явления, так бывало всегда, когда в астрономии появлялись те или иные новые наблюдательные методы. Достаточно вспомнить, что 60-дюймовый рефлектор неожиданно разрешил на звезды туманность Андромеды, внезапно показав астрономам громадность шкалы метагалактических расстояний. Постоянная Хаббла, являющаяся такой же фундаментальной константой мира, как и постоянная Планка, уменьшилась благодаря входу в строй двух телескопов (250- и 500-сантиметрового) и других технических усовершенствований (например, появление чувствительных к красному свету фотопластинок!) примерно в 10 раз по сравнению с 1929 г., когда она была открыта. И здесь уместно вспомнить слова Лапласа, который писал: «Наиболее современные труды поднимают науку на высоту, с которой она уже не имеет права спуститься, и рождают новые открытия, подготавливая этим самым труды, которым суждено затмить их самих».

СОДЕРЖАНИЕ

Наземная оптическая астрономия	3
Первый современный рефлектор	8
Крупнейший телескоп начала века	14
От чего зависит эффективность телескопа	20
5-метровый рефлектор	32
Практическая астрофизика в нашей стране	41
Электронно-оптический преобразователь	48
Внезатменный коронограф	57
Заключение	61

Петр Владимирович ЩЕГЛОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ — ИХ
ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Редактор *Р. Г. Базурин*

Обложка художника *Н. И. Васильевской*

Худож. редактор *В. Н. Конюхов*

Техн. редактор *М. Т. Столярова*

Корректор *Т. Ю. Дорогова*

А 02597. Индекс заказа 44206. Сдано в набор 15/III 1974 г. Подписано к печати 15/IV 1974 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл.-печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,30. Тираж 31 130 экз. Издательство «Знание», 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 3/4. Заказ 528 Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Цена 10 коп.

10 коп.

Индекс 70101