

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НАЗЕМНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Панчук В.Е.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

РЕЗЮМЕ. Перечислены основные этапы развития технических средств мировой и отечественной астрономической спектроскопии.

Первые сто лет астрономической спектроскопии ознаменованы следующими этапами. В 1802 г. В.Г.Волластон, используя щель и призму (этот эксперимент можно считать зарождением спектроскопического приборостроения), обнаружил в спектре Солнца семь темных линий, которые считались границами естественных цветов. В 1814 г. И.Фраунгофер наблюдал уже около 600 линий, половину из которых нанес на карту спектра. Начиная с 1817 г., Фраунгофер визуально сравнивал спектры Солнца, планет и ярких звезд, в 1823 г. убедился, что спектры звезд различны. В 1842 г. Х.Доплер высказал предположение, что характер светового луча изменяется в зависимости от скорости перемещения источника света относительно наблюдателя. В 1859 г. Г.Р.Кирхгоф установил закономерности поведения линейчатого (абсорбционного и эмиссионного) и непрерывного спектров (зарождение спектрального анализа). Первый солнечный спектр был опубликован Кирхгофом в 1861 г. В 1868 г. в спектре хромосферы обнаружена желтая линия, отождествленная с линией гелия, открытого на Земле в 1868 г. Локьер обнаружил смещения и искривления линий хромосферного спектра, что интерпретировал как проявление эффекта Доплера. В 1863 г. Секки начал использовать призму прямого зрения, и в 1868 г. опубликовал результаты первых попыток спектральной классификации звезд (четыре типа: водородные, металлические и два типа молекулярных). В 1886 г., в память Г.Дрепера, основателя «конвейерного производства» в астроспектроскопии – метода с предобъективной призмой, – было начато составление обзора спектров звезд северного неба (руководил – Пикеринг, работала, в основном, – А.Кэннон, выполнившая классификацию спектров для 360 тысяч звезд). В 1890 г. Килер (Ликская обсерватория) выполнил первые надежные визуальные измерения лучевой скорости по спектру Арктур. В 1888 г. Фогель (Потсдам) начал фотографические измерения лучевых скоростей, методику изучили и развивали Фрост (Йеркская обсерватория) и А.А.Белопольский (Пулково). На Лике фотографическую спектроскопию развивал Кэмпбелл. В

1897 г. А.С.Мори опубликовала различия в ширинах и интенсивностях линий, которые в 1905 г. Герцшпрунг проинтерпретировал как эффекты светимости. В 1900 г. Белопольский экспериментально подтвердил принцип Доплера. Итак, за первое столетие составлен атлас спектра Солнца, в спектрах выделены основные эффекты (эмиссия, абсорбция, сдвиг линий), созданы методы фотографической спектроскопии, проведено накопление звездных спектров с последующей классификацией, начаты массовые измерения деталей в спектрах (интенсивности, ширины и сдвиги линий). В конце XIX века спектроскопия высокого разрешения (достигая $R=30000$), была связана с применением крупнейших телескопов того времени.

Становление астроспектроскопии в России обусловлено следующими обстоятельствами. Астрофизика зародилась на астрономических обсерваториях, последние можно разделить на два типа: приморские и придворные. Каждая придворная обсерватория (Франция, Англия, Россия) рассматривалась, прежде всего, как политический проект (например: «Пулково должно обладать лучшими в мире инструментами»), климатические соображения отступали на второй план. Климат южных приморских обсерваторий был не намного лучше. Первые полстолетия стратегия развития Пулкова определялась иностранными учеными. Астрофизические наблюдения в России были начаты на университетских обсерваториях, скромное оборудование которых уступало превосходной оснащенности Пулкова. Особенности этого этапа спектроскопии были персонифицированы, т.к. работало всего около дюжины специалистов. Темпы развития были высокими, например, для большого пулковского рефрактора (стоимостью 300 тыс.руб.), за 2 года был изготовлен 76-см объектив (стоимостью 32 тыс. долларов). В первой декаде XX века уже все 14 обсерваторий России (Дерпт, Харьков, Николаев, Москва, Пулково, Киев, Одесса, Ташкент, Санкт-Петербург, Казань (2), Львов, Дубоссары, Симеиз), – обладали оборудованием, пригодным для выполнения астрофизических исследований. Российских обсерваторий было в 10 раз меньше, чем в Западной Европе, и в 3 раза меньше, чем в Соединенных Штатах. Но по степени оснащенности оборудованием, предназначенным для астрофизических работ или пригодным для таковых, – Россия находилась в числе лидеров.

Второе столетие астроспектроскопии можно характеризовать следующими техническими этапами: 1) создание первой астрофизической лаборатории (Хэйл); 2) создание спектрографа фокуса кудэ, $R=70000$ (Адамс, 1911); 3) совершенствование техники изготовления дифракционных решеток, длина нарезанной части от 110 мм в 1935 г. до 304 мм в 1952 г. (Вуд); 4) изобретение катадиоптрических светосильных камер (Шмидт, Максудов); 5) увеличение угловой дисперсии решетки за счет перехода в высокие порядки дифракции (Гаррисон, Герасимов, Копылов, Стешенко); 6) массовое применение малочувствительных светоприемников; 7) создание специализированных спектроскопических телескопов.

В 1935 г. половина всех публикаций в *ApJ* была посвящена исследованию звездных спектров, а к 1975 г., когда практически все спектрографы неподвижного фокуса кудэ были построены, эта доля снизилась до 1/7. Обнаружение объектов новой природы, или новых свойств у известных объектов, привело к смене приоритетов в астрофизике, что неизбежно отразилось на развитии техники звездной спектроскопии во второй половине XX века. «Золотой век» звездной спектроскопии завершился.

Выделим концептуальные приборы этого столетия. А) Универсальный призмный спектрограф 1.8-м рефлектора, Виктория, конец 20-х. Линзовая фотографическая камера устанавливалась после одной, двух или трех призм, что расширяло набор вариантов наблюдений. Б) Спектрограф фокуса кудэ 2.5-м телескопа Маунт Вилсон, ценность которого подчеркивается высказыванием Мак-Лафлина, 1956: «Если даже с помощью 200-дюймового телескопа и не сделают новых открытий, он полезен тем, что освободит 100-дюймовый телескоп для решения многих задач». В) Спектрограф фокуса кудэ 1.9 м рефлектора обсерватории Верхнего Прованса, – щель, коллиматор, дифракционная решетка, и 4 камеры спектрографа были заключены в объем постоянного давления и температуры. Г) Корреляционный фотоэлектрический измеритель лучевых скоростей CORAVEL. Д) Эшелле спектрограф 1.4-м телескопа ЕЮО – первый прибор высокого разрешения, работавший каждую ясную ночь в течение почти двух десятков лет, в т.ч. и в режиме дистанционных наблюдений. Е) Эшелле спектрограф фокуса кудэ 3.9-м телескопа ААТ, где эффективно внедрены резатели изображения и принцип перезаполнения эшелле. Ж) Эшелле спектрограф с оптоволоконным сочетанием ELODIE, одна из первых схем белого зрачка.

Памятные даты отечественной астроспектроскопии полезно сравнить с соответствующими зарубежными вехами (указаны в скобках). Призмный спектрограф на рефракторе – 1891, Белопольский. Дифракционный спектрограф на рефракторе – 1897, Белопольский. Призмный спектрограф на рефлекторе – 1926, Альбицкий, Шайн. Солнечный спектрограф – 1924, Белопольский, (1908, Хэйл). Интерферометр Фабри-Перо – 1960, (1937, Франция). Спектрограф фокуса кудэ – 1962, ЗТШ, (1919, Маунт Вилсон). Небулярный спектрограф

1955?, КрАО, (1939, Мак Дональд). Звездный спектрограф с эшелле 1963, КрАО, (1967, США). Корреляционный измеритель скорости 1984, ГАИШ, (1967, Гриффин). Картину дополняет почти полувековое наше отставание в применении Фурье-спектрометра (начало 60-х, Конн), и отсутствие у нас спектрографов с оптоволоконным сочетанием, (1986, США).

В годы становления спектроскопии наше отставание определялось: отсутствием отечественного точного приборостроения; сосредоточением основных средств наблюдений в местах, мало пригодных для астрофизических работ; бедностью университетов. Затем начали сказываться частые послереволюционные реформы системы образования и резкий рост числа научных организаций (последнее увеличило нагрузку на отечественную оптико-механическую промышленность). В послевоенный период отставание определялось, в основном, состоянием технологии производства приемников излучения.

Становление оптической промышленности в довоенный период. В Ленинграде активно развивались научные основы технологии варки оптического стекла, контроля его однородности и измерения оптических характеристик. В Государственном оптическом институте (ГОИ) за короткий срок удалось освоить промышленное производство оптического стекла, и в 1927 г. прекратить его импорт. Наличие стекла основных марок позволило развернуть работы по расчетам оптических систем и разработке приборов различного назначения. С созданием необходимой промышленной базы оптики и инженеры А.А.Чикин, Д.С.Рождественский, Д.Д.Максудов, Н.Г.Пономарев, В.П.Линник, Г.Г.Слюсарев, – приступили к развитию отечественного телескопостроения и приборостроения. Например, Д.Д.Максудову было поручено изготовление объектива для 82-см рефрактора. После подготовительных работ две пары заготовок отличного качества были успешно отлиты и отожжены в 1934 году. Изготовление пары стекол хорошего качества для ахроматического объектива такого размера остается до настоящего времени одной из труднейших задач оптического стекловарения. При непосредственном участии Н.Г.Пономарева на заводе оптического стекла были проведены опыты по изготовлению зеркал облегченной (сотовой) конструкции методом спекания отдельных прессованных и обработанных элементов. Одна из таких заготовок диаметром 98 см была обработана спустя много лет. Регулярный выпуск астрономических приборов начал на ГОМЗ в 1935 году, под руководством Н.Г.Пономарева. До 1941 г. среди выпускаемых заводом ГОМЗ астрономических приборов главное место занимали приборы для наблюдения Солнца.

Солнечный телескоп Пулковской обсерватории (1941г.), имел 50-см целостат и 65-см дополнительное зеркало. Главное параболическое зеркало имело фокусное расстояние 17 м и отверстие 50 см. По проектам Н.Г.Пономарева были созданы рефлектор с зеркалом 33 см для Абастуманской обсерватории, спектрогелиограф Харьковской обсерватории и другие приборы.

Развитие системы астрономических организаций.

В довоенный период в СССР было организовано шесть обсерваторий и станций: Полтавская, Китабская, Иркутская, Абастуманская, Сталинабадская, Свердловская, и расширены возможности существующих обсерваторий. Деятельность ведущих астрофизиков (В.В.Стратонов, В.Г.Фесенков), по организации Главной Российской АстроФизической Обсерватории (ГРАФО), завершилась лишь объединением столичных астрономических учреждений и основанием Абастуманской астрофизической обсерватории, последняя своей работой подтвердила целесообразность устройства астрофизических учреждений в горах. Создание Абастуманской и Сталинабадской обсерваторий явилось также первым звеном в политике формирования национальных астрономических учреждений.

Итоги войны и послевоенной изоляции.

Оборудование, полученное из Германии по репарациям, послужило для развития Крымской астрофизической обсерватории (1.2-м телескоп), Пулковской обсерватории (большой рефрактор) и Бюраканской обсерватории (1-м Шмидт), создания Кисловодской Горной станции ГАО и развития Астрофизического института в Алма-Ате (внеатменные коронографы). В условиях начинающейся холодной войны был поставлен и решен вопрос об оснащении обсерваторий исключительно отечественным оборудованием. На территории вновь построенной Пулковской обсерватории было установлено два десятка телескопов. Решение о строительстве крупнейших оптических телескопов послужило основанием для создания новых промышленных мощностей.

Создание отечественных спектрографов.

В довоенный период в СССР были построены солнечный спектрограф (Пономарев) и светосильные спектрографы с камерами Шмидта (Леонтовский). На 1-м симеизском рефлекторе использовался призмный спектрограф швейцарского производства. Однопризмный спектрограф конструкции Альбицкого использовался на 1.2-м рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории. Крупнейший из семейства менисковых телескопов системы Максудова, 70-см АС-32, (Абастумани, 1955), был оснащен предобъективной призмой. Для спектроскопии протяженных объектов строились небулярные спектрографы с камерами сверхвысокой светосилы (от 1:1 до 1:0.6), работающие без телескопа. В ГОИ и на ГОМЗ были разработаны два типа небулярных спектрографов, в т.ч. небулярный спектрограф АСИ-1. В 1948 г. был создан серийный бесщелевой спектрограф АСИ-5, состоящий из параболического 25-см рефлектора, призмы Корню и кварцевого объектива F:6. В 1960 г. на Бюраканской астрофизической обсерватории был смонтирован АЗТ-10 (диаметр отверстия 100 см, фокусное расстояние 2.13 м, диаметр главного зеркала 125 см, светосила 1:2.3, угловое поле по стороне фотопластины $4^{\circ}10'$). Этот телескоп системы Шмидта, создание которого было начато еще в фашистской Германии, снабжен тремя сменными объективными призмами – из крона с преломляющими углами 1.5° и 3° , и из флинта с углом 4° . Для 1.25-м телескопа ЗТЭ ГАИШ были изготовлены: 1) АСП-3 – двухпризмный спектрограф фокуса Кассегрена. Коллиматор с отверстием

объектива 60 мм, две призмы из легкого флинта с преломляющими углами 63° , две камеры с фокусными расстояниями 175 и 520 мм. Дисперсия 59 и 19 Å/мм при 4341 Å соответственно. 2) Кварцевый однопризмный спектрограф с дисперсией 240 Å/мм при 4046 Å, устанавливаемый в фокусе Кассегрена. 3) Однопризмный бесщелевой спектрограф для системы Ньютона. Для проверки принципов работы при переменных значениях окружающей температуры и положении в пространстве, разработан экспериментальный дифракционный спектрограф, установленный на 1.2-м телескопе КрАО. Спектрограф имеет зеркальный коллиматор типа Кассегрена, дифракционную решетку 140x150мм (1200 штр/мм), камеру Шмидта (F=185мм). Дисперсия 36 и 15 Å/мм (в 1 и 2-ом порядках спектра). Имеется линзовая камера и сменная дифракционная решетка (300 штр/мм), для работы в ИК-диапазоне. В комплект 2.6-м рефлектора ЗТШ входили два бесщелевых дифракционных спектрографа с линзовой оптической системой: СП79 имеет положительный коллиматор и предназначен для диапазона 3300-4000Å, дисперсия 180 Å/мм, светосила камеры – 1:4.7. СП80, для диапазона 4000-6500Å, дисперсия 250 Å/мм, имеет отрицательный коллиматор и камеру со светосилой 1:3.8. Поле одновременно исследуемых объектов у обоих спектрографов равно примерно десяти минутам дуги. Спектрограф СП72 устанавливался в фокусе Нэсмита ЗТШ. Оптическая схема включает зеркальный коллиматор типа Кассегрена, дифракционную решетку (90x100 мм, 600 штрихов/мм), и две камеры Шмидта, светосилой 1:1 и 1:2. Обратная линейная дисперсия 160 Å/мм и 80 Å/мм соответственно. АСП-14, спектрограф фокуса кудэ ЗТШ, был оснащен решеткой, изготовленной в ГОИ, (600 штр/мм на площади 280x300мм). Концентрация энергии (на 4400 Å в 3-ем порядке), составляла 40%. Создание подобной решетки представляло рекорд для начала 60-х. (В спектрографе кудэ 5-м рефлектора Хэйла была установлена решетка почти такого же размера, но составленная из четырех отдельных 15-см решеток, собранных в общей оправе). Камеры АСП-14: F=0.7, 1.35 и 3.35 м (внеосевая), линейные дисперсии соответственно 12, 6 и 2.4 Å/мм во 2-ом порядке и 8, 4 и 1.6 Å/мм – в 3-ем. Длина фотографического спектра составляла 12, 22 и 53 см, соответственно. Итак, к началу 60-х в оптико-механической промышленности были разработаны и выпускались астрономические спектрографы всех типов, причем часть из них – небольшими сериями.

Серьезная загрузка оптико-механической промышленности другими заказами, не позволяла (начиная с конца 70-х), развивать астрономическое приборостроение по концептуально новым идеям. Уже с 60-х в ряде астрономических учреждений астрономические спектрографы создавались самостоятельно. Распространение получила схема Сейя-Намиока, в которой угол между линиями, соединяющими вогнутую решетку и щели, а также расстояния до щелей, – постоянны. В качестве примера приведем спектрофотометр на 50см рефлекторе Герца (1:22) АФИ АН Казахской ССР. Использовалась решетка 600штр/мм, 46x50 мм, R=500 мм, результаты наблюдений записывались на магнитную ленту. В Одессе на основе 43см (F:10) катадиоптрического телескопа системы

Аргунова был создан оригинальный сканер с предобъективной 7-градусной призмой. Сканирование спектра осуществлялось путем небольшого рассогласования режима сопровождения объекта.

Первое поколение спектроскопического оборудования 6-метрового телескопа БТА, ориентированное на применение фотографической регистрации и электронно-оптических преобразователей (ЭОП), было создано промышленным образом. Последующие два поколения спектроскопической аппаратуры БТА созданы непосредственно астрономами САО, а промышленности заказывались только дифракционные решетки и некоторые компоненты светоприемных комплексов. Детали этого процесса можно найти в монографии «САО РАН. 40 лет». Нижний Архыз, 2006.

Эффективность использования спектроскопической аппаратуры в значительной мере определяется астроклиматическими характеристиками. Темпы послевоенного создания новых обсерваторий были высокими, опережая выполнение программ поиска мест для установки нового оборудования. В 40-х было создано 7 обсерваторий и станций, в 50-х – 10, в 60-х – 8, и в 70-х – 4. Становление астроклимата как экспериментального научного направления проходило в конце 60-х – начале 70-х, так что большинство новых пунктов наблюдений было выбрано без длительных предварительных исследований. После создания обсерватории систематические исследования астроклимата, как правило, прекращались.

Другим фактором, повлиявшим на развитие астрономической спектроскопии, явилась инерционность системы подготовки специалистов. Уже в 70-е обозначились признаки кризиса в отечественной

практической астрофизике. Обострились проблемы оснащения университетских обсерваторий и кафедр современным лабораторным и научным оборудованием, вычислительной техникой. Учебники и учебные пособия по практической астрофизике также не отражали разнообразие новых научно-технических методов. В это же время происходил расцвет теоретических школ, значительная часть молодежи устремилась в новые астрофизические направления. Ежегодно университетами СССР выпускалось более сотни астрономов, но вакансий в институтах и на обсерваториях было на порядок меньше.

Системный кризис, завершившийся распадом СССР, нанес урон научным исследованиям. Особенно пострадали направления, деятельность которых определялась территориальным распределением экспериментальных и технических баз: обсерваторий, полигонов, заповедников, средств средств запуска космических аппаратов и контроля космического пространства. Была свернута деятельность конструкторских бюро, работавших в области астрономического спектроскопического приборостроения.

Пути развития астрономической спектроскопии в нашей стране – не просматриваются, хотя бы потому, что сегодня нет внятно сформулированной программы развития наземной астрономии оптического диапазона. Многие годы в концепции нашего развития преобладал соревновательный тезис: «достичь того, чего другие еще не достигли». Сегодня ситуация такова, что мы уже не в состоянии соревноваться, но еще в состоянии понимать то, что сегодня происходит в астрономическом приборостроении за рубежом.