

О. А. Мельников

К столетию астроспектроскопии

Многочисленные исследования астрономов, физиков-оптиков и физиков-спектроскопистов XVIII и первой половины XIX в. подготовили необходимый научный фундамент для возникновения в 1859—60 гг. новой науки—Астроспектроскопии. Возникнув, спектроскопия продолжала развиваться и расширяться исключительно быстро, настолько, что сейчас эта сравнительно молодая наука включает целый ряд важнейших разделов астрофизики: спектрометрию, спектрофотометрию, теоретическую астроспектроскопию и т. д.

Характерным направлением для астроспектроскопии XIX в. было с одной стороны построение удобной и физически правильной классификации звезд по их температурам (цветам), а позднее и светимостям, и, с другой, изучение ничтожных по величине сдвигов спектральных линий, обусловленных (согласно принципу Допплера-Физо) движением светил (спектрометрия).

В XX в. характерным направлением для астроспектроскопии явилось изучение вида линий в спектрах небесных объектов и их интенсивностей сначала визуальным, а в последнее время, фотографическим, фотоэлектрическим и др. методами (спектрофотометрия). Успехи в этой области позволили в 30—50 гг. XX в., в первом приближении, решить задачу определения обилия химических элементов в небесных телах и проблему физического строения этих тел, их оболочек (теоретическая астроспектроскопия). При этом естественно, что благодаря огромной яркости нашего соседнего небесного тела—Солнца—первые надежные результаты были получены в этой области по его спектру.

Разложение излучения Солнца в спектр было сделано еще в XVII в. Яном Марекком Марци и Исааком Ньютоном. В начале XIX в. У. Х. Волластоном и, немногим позднее, но зато более уверенно, Ж. Фраунгофером (1814—15 гг.) были открыты темные линии поглощения в спектре Солнца, названные впоследствии фраунгоферовыми.

За этими открытиями последовали многочисленные лабораторные, спектроскопические работы. Область исследования расширялась от ультрафиолетовых до инфракрасных лучей. Однако, этот период еще не являлся началом новой науки—астроспектроскопии, которая, применив мощный метод физики—спектроскопию, сделала её подлинным "языком Вселенной" (по выражению одного из популяризаторов астрономии).

Первые же успехи астроспектроскопии развеяли мнение, пропагандировавшееся О. Контом и другими философами-идеалистами о

том, что человек никогда не сможет узнать химического состава удаленных небесных тел.

Связь между картиной спектра и химическим составом излучающего тела была установлена в результате работ ряда физиков и в первую очередь в 1859 г. Густава Роберта Кирхгофа (1824—1887), работавшего в содружестве с химиком Р. Буизеном. Кирхгофом сформулирован основной закон, устанавливающий соответствие между поглощенной и излученной энергиями нагретых тел. С большой тщательностью Кирхгофом была составлена карта линейчатого солнечного спектра. Сравнение длин волн солнечных линий с лабораторными позволило отождествить 9 элементов в фраунгоферовом спектре Солнца. Для объяснения возникновения линий поглощения существенным явилось также и то, что солнечный свет, пропущенный, например, через пары натрия при разложении в спектр давал усиленные линии D_1 , D_2 и усиление подчеркивалось еще больше при увеличении плотности паров.

В дальнейшем исследования общего фраунгоферова спектра Солнца продолжались и венцом в этой области явились карты и таблицы [PRT] длин волн Г. Роуланда, полученные (1895—97 гг.) с помощью вогнутой дифракционной решетки и точно измеренные Л. К. Ивеллом. В них было занесено в области 2970—7330 Å 20027 линий и идентифицировано 39 элементов, два из которых [Ti, Bi] были идентифицированы ошибочно. Эти таблицы были в 1928 г. пересмотрены и пересчитаны на интернациональную систему Ш. Е. Сент-Джоном, В. Адамсом, Х. Д. Бэбкоком, Ш. Мур и Л. М. Вейре [RRT]. Они распространяются на область спектра 2975—7331 Å*, содержат около 21835 линий с длинами волн, идентификацией, глазомерными оценками интенсивностей (в спектре центра Солнца и пятен), классами температуры, давления и т. д. Около 30% линий еще не идентифицировано. В этих таблицах идентифицированные линии соответствуют 57 известным элементам.

С появлением специальных инфракрасных (ИК) фотопластинок изучение солнечного спектра было продолжено до 33495 Å (В. Ф. Меггерс, 1919 г. и др., Х. Д. Бэбкок, Ш. Мур, 1947 г.), а с появлением других приемников для ИК-области (серно-свинцовые ФЭ и др.) высокой чувствительности солнечный фраунгоферов спектр был изучен вплоть до 25242 Å, но только в тех областях или "окнах", где он свободен от теллурических полос (А. Адель, 1940—50; Р. Мак Мас, Л. Гольдберг, О. К. Молер и А. К. Пирс, 1944—50; М. Мижо и Г. Нильсон, 1952 и др.). Была также сделана ревизия коротковолнового участка с небольшим расширением в УФ область (Х. Д. Бэбкок, Ш. Мур и М. Ф. Коффи, 1948) до предельной зоны невидимости из-за поглощения озоном, а именно 2950—3060 Å. Некоторые успехи были достигнуты благодаря ракетным данным (Д. Д. Холфильда и Г. Е. Клирмана, 1948 г.;

* и дополнительно область 7333—10218 Å.

Е. Дорольда, Д. Д. Оберлея и Р. Тузи, 1949 г. и др.) в области 2000—2950 Å и даже в последнее время до области 1025.7 Å, т. е. L_2 (Ф. С. Джонсон, Х. Х. Малитсон, Ю. Д. Парселл, Р. Тузи, 1958 г.).

Однако разрешающая сила поднимаемых спектрографов, с учетом вибраций и термических эффектов, невелика и блендирование значительно. Особый интерес в этой области представляют элементы HgI , Bil и $TcII$, имеющие в этой части спектра интересные и важные для идентификации линии.

С перечисленными дополнениями к списку длин волн в спектре Солнца были идентифицированы линии 66 химических элементов. После пересмотра Ш. Мур (1951 г.) их стало 67, но аргон, входящий в это число был идентифицирован Б. Эдленом не в фраунгоферовом спектре, а в корональном спектре, излучения по линии 5536 Å, принадлежащей запрещенному переходу $[ArX]$, т. е. аргону, потерявшему 9 электронов и аналогичному Fe (со спектроскопической точки зрения). Соответствующая таблица Ш. Мур, элементов обнаруженных на Солнце, прилагается ниже*.

Благодаря успехам в изучении ИК и УФ областей спектра Солнца удалось значительно пополнить список элементов, присутствующих в его атмосфере. Например, наличие PI (около 10500 Å), более уверенная идентификация SiI (около 3000—10500 Å), Sil (около 8000—11000 Å) и др. При этом, как заметила Ш. Мур (1956) солнечные волновые числа Sil дают даже более точные значения уровней энергии этого элемента чем лабораторные. Это обусловлено тем, что соответствующие линии очень резки в солнечном спектре, но очень широки в лабораторном, правда в том случае, когда электрическая дуга, в которой возбуждаются линии Sil горит в воздухе. Всего сейчас в спектре Солнца, как мы видели, идентифицировано более 67 элементов, но многие обнаружены только по одной линии, т. е. неуверенно (Ar , Cd , Au , Th), многие только в соединениях (BH , MgF , SrF), только в короне $[ArX]$, только в пятнах (Li , Rb , In) и т. д.

Трудности с идентификацией обусловлены большим количеством линий, их наложениями и случайными совпадениями длин волн. Для идентификации используются интенсивности и длины волн линий, мультиплеты и серии, зеемановские картины расщепления (в солнечных пятнах), данные предсказания из структур энергетических термов и уровней (например, для FeI и Sil многие предсказания слабых линий оправдались и затем были подтверждены в лаборатории, после применения специальных источников, дающих слабые линии в спектре,

* Отметим, что присутствие лития весьма загадочно (он обнаружен в пятнах). Конвективные токи Солнца должны хорошо перемешивать его вещество. Но литий, попав в глубокие слои, не мог бы уже выйти наружу. Это обусловлено тем, что в глубоких слоях литий за несколько минут, путем ядерных реакций, перерабатывается в другие химические элементы (атомы). Этого однако не произойдет, если вещество Солнца по внутренним и внешним слоям полностью разделено и не перемешивается.

Таблица 1

(Химические элементы на Солнце, III. Мур 1951 г.).

Где обнаружен	Элементы										Число
1) Обнаружены в спектре Солнца надежно	H P Co Mo Pr W	He S Ni Ru Nd Os	B K Cu Rd Sm Ir	C Ca Zn Pd Eu Pt	N Sc Ga Ag Gd Pb	O Ti Ge Sn Dy	Na V Sr Sb Tu	Mg Cr Y Ba Yb	Al Mn Zr La Lu	Si Fe Nb Ce Hf	55
2) Обнаружено в спектрах пятен	Li	Rb	In								
3) Обнаружено в соединениях	B	F									
4) Обнаружено только по одной линии	Ar*	Cd	Au	Th							
5) Обнаружены неуверенно	Tb	Er	Ta								
Всего: 67											
6) Обнаружено очень ненадежно (или косвенно, по другим объектам - гипотетически)	As	Tc									2
7) Для обнаружения недостаточно лабораторных данных	Pm	Ho									2
4											
8) Не обнаружены**, основные линии доступны, E=эв.	Cs 0,0	Re 0,0	Tl 0,0	Bi 0,0	Ra 0,0	U 0,0					6
9) Не обнаружены, основные линии трудно доступны, E=эв.	Hg 4,9	Te 5,5	Se 6,0	I 6,9	Br 7,8	Xe 8,3	Cl 8,9	Kr 9,9	Ar** 11,5	Ne 16,6	9
Всего: 15											
10) Не обнаружены и обнаружение не ожидается	Po Cm	At Bk	Fa Cf	Fr [Es]	Ra*** Fm	Ac Mv	Pa No	Np ****	Pr Am		16
Всего: 16											

* Запрещенная линия 5536 Å [ArX], по короне;

** Доступны основные линии низкого потенциала возбуждения E=эв, необнаруженных элементов, Ar также в гр. № 4;

*** Понадает также в группу № 8 основных, доступных линий;

**** Эйнштейний (99), Фермий (100), Менделеев (101), Нобелей (102), см. УФН, 58, 825, 1957.

К. К. Кисс и Ш. Е. Мур, 1950), лабораторных и астрофизических данных (по разным типам звезд, например в случае *TcI*).

Все же 15 элементов еще вовсе не обнаружено в общем спектре Солнца или же хотя бы в спектрах образований последнего, а 16 и не ожидаются.

Тысячи слабых линий в спектре Солнца еще не отождествлены и большинство из них обусловлено своим происхождением молекулами (иногда принадлежащими, по-видимому, атмосфере Земли), что доказывается их лишь незначительным или даже нулевым зеемановским расщеплением (или уширением) в магнитных полях солнечных пятен.

В настоящее время Ш. Мур, внесшая большой вклад в проблему идентификации линий в солнечном спектре, подготавливает вторую ревизию таблиц Г. Роуланда — „SRRT“. Существенную помощь при этом оказывают перечисленные выше таблицы и списки длин волн и точные интенсивности — эквивалентные ширины линий, которые можно получить из утрехтовского фотометрического атласа солнечного спектра М. Миннаерта, Я. Хаутгаста и Г. Ф. Мюлдерса 1940 г. в области 3612—3771 Å для центра диска Солнца (по Маунт-Вилсоновским спектрограммам) и в области 3332—3637 Å в интегральном потоке (по Утрехтовским спектрограммам). То же самое можно сказать и о мичиганском фотометрическом атласе солнечного спектра Р. Мак Маса, О. К. Молера, А. К. Пирса и Л. Гольдберга для области 8465—25242 Å (1951 г.), и ряда других.

На примере изложенной проблемы — идентификации линий в солнечном спектре, мы убеждаемся в совершенной необходимости тесного контакта между астроспектроскопистами и спектроскопистами-физиками. То же самое можно сказать и об аналогичной проблеме при изучении спектров звезд, туманностей, планет, комет и т. д. Обилие атомов в этих, не пекулиарных объектах, близко к солнечному и земному.

Параллельно с линейчатым спектром исследовался и непрерывный спектр Солнца (т. е. излучение между линиями поглощения), как в относительных, так и в абсолютных единицах, т. е. например в эрг/сек.см^2 . Первые работы подобного рода в абсолютных единицах на современной основе были начаты в Смитсоновском институте С. В. Ланглеем в 1883 г. и продолжены К. М. Абботом с сотрудниками в разных географических точках и на разных высотах, вплоть до 4520 м над уровнем моря.

Наблюдения велись путем сочетания трех инструментов: пиргелиометра, спектроболметра I и спектроболметра II (для измерения потока и интенсивности излучения).

В последующем подобные работы продолжались другими учеными, однако, чаще всего исследования ограничивались относительными измерениями.

Достаточно точные редукции были выполнены М. Миннаертом и др.

В самое последнее время абсолютные измерения распределения энергии в спектре Солнца были произведены сравнением с моделью

эталонной лампы и черного тела в Кучинской обсерватории Г. Ф. Ситником (фотоэлектрически, 1955 г.) и Е. Л. Макаровой (фотографически, 1957 г.).

Из последних зарубежных работ следует указать на исследования Д. Шалонжа и Р. Коноваджи (1946 г.), Р. Мишара (1950 г.), Р. Пейтуро (1952 г.), А. К. Пирса (1954 г.), А. Лабса (1957 г.) и др. К ним также следует отнести и новейшие исследования в далеком ультрафиолете, выполненные с высотными ракетными снарядами (до 100 км и выше) и описанные Н. Л. Вилсоном, Р. Тоузи, И. Д. Парселом, Ф. С. Джонсоном, Ш. Мур (1954 г.) и др. Новейшие обзоры этих работ сделаны К. де Ягером и С. Л. Мандельштамом (1957).

Наряду с изучением отдельных участков спектра, полученного от центра солнечного диска, исследовались спектры отдельных деталей на поверхности и на краю диска. Почти одновременно И. Локьер и П. Ж. С. Жансен научились наблюдать спектры протуберанцев, вне затмения (1868). Линии в их спектрах оказались блестящими, т. е. указывали на свечение раскаленных газов. Была открыта желтая линия излучения D_2 , приписанная еще неизвестному элементу гелию, который лишь спустя почти 30 лет был открыт на Земле. Эту линию независимо наблюдал также Ф. А. Бредихин (о чем он сообщил в письме физику А. Г. Столетову), построивший свою обсерваторию в Погосте. В последующем он эти наблюдения перенес в Московскую обсерваторию и наблюдал спектры протуберанцев в течение 11 лет, т. е. полный цикл с 1872 и по 1883 г.

По инициативе Ф. А. Бредихина, подобные наблюдения были начаты также в Одессе, Харькове и Юрьеве (Тарту, ЭССР).

В начале XX века Г. Е. Хэл, по зеемановскому расщеплению линий в спектрах, открыл магнитные поля солнечных пятен и научился измерять напряженность соответствующих полей. Оказалось, что в центре пятен напряженность магнитного поля составляет от 0 до 5000 эрстедт и более, увеличиваясь с ростом площади пятен. С каждым новым циклом преобладающее направление силовых линий магнитного поля меняется на обратное, поэтому период магнитных явлений на Солнце составляет 23 года (11,5+11,5). Это важнейшее явление изучается по сей время в США, Германии, СССР и др. странах.

Успешно изучался спектр Солнца во время полных или даже частных затмений.

В спектре солнечной короны была открыта знаменитая зеленая линия излучения 5303 Å [Fe XIV], а затем красная и ряд других (сейчас их известно до 31 в области 3328—10797 Å). Первоначально эти линии приписывались неизвестному элементу „коронно“. Много труда составило описание этого „элемента“ или „элементов“. Лишь недавно Б. Эдлену удалось (в 1945 г.) установить, что эти линии принадлежат высокоионизированным, но уже известным на Земле элементам FeXIV, FeXIII, NiXV, CaXII, CaXIII и др. Как число солнечных пятен, так и форма короны (А. П. Ганский), а также линии излучения в ее спек-

тре, хорошо связаны с целым рядом земных явлений. Это побудило построить в СССР специальные, корональные станции, близ Кисловодска (М. Н. Гневышев) и Алма-Аты (В. Г. Фесенков, М. Г. Каримов). Эти станции, как и сеть станций „Службы Солнца“ (Абастумани, Львов, Ташкент, Харьков и др.) и вообще обсерватории имеющие солнечное оборудование, успешно решают проблему воздействия Солнца на земные процессы, имеющую большое народно-хозяйственное значение.

В СССР подобные исследования проводятся с наибольшим размахом, а сейчас, в связи с МГГ, они еще более усилены.

Лучшими в СССР специальными солнечными инструментами являются Крымский башенный и Пулковской горизонтальный солнечные телескопы, изготовленные под руководством инженера П. В. Добычина по техническим заданиям А. В. Северного, В. А. Крата и др.

За границей отличные солнечные телескопы и корональные станции находятся в США (Маунт-Вилсон, Мак Мас, отделение Гарварда и т. д.), во Франции (Медон, Пик дю Меди), Германии (Потсдам), Англии (Кембридж), Швейцарии (Ароза) и др. Именно с помощью телескопов этих обсерваторий, а также при затменных наблюдениях, удалось раскрыть спектральную природу солнечной атмосферы (фотосферы, обращющего слоя, хромосферы и короны) и отдельных ее образований, в частности „факелов“, „вспышек“ и др.

Первая, пионерская в СССР, спектрофотометрическая работа по изучению солнечных факелов была выполнена В. А. Амбарцумяном совместно с Н. А. Козыревым еще в 1932 г. Они смогли определить температуру излучения этих интересных образований.

Спектрами вспышек в СССР успешно занимаются А. Б. Северный, Э. Р. Мустель, В. А. Крат и др.

Параллельно развивалась и звездная спектроскопия.

Первые наблюдения спектров звезд начал делать еще в начале XIX в. (1824 г.) Ж. Фраунгофер (по методу призмной камеры).

Большим вкладом явилось создание спектральной классификации звезд. Ее основы были заложены А. Секки в Италии (4000 звезд), Н. Локьером, В. Хеггинсом в Англии, Л. М. Резерфордом в США и Г. К. Фогелем в Германии в 1830—1924 гг.

Эти важнейшие исследования были завершены гарвардской спектральной классификацией, которая используется до настоящего времени. Она была создана трудами Э. Пикеринга, А. Кэнион, А. К. Мори, В. П. Флеминг и др. в результате наблюдений в Гарварде и на станции Аркипе (Перу).

Первые спектральные классификации были в основном одномерными. Звезды классифицировались фактически по температурам. Однако уже в работах Н. Локьера (1870 г.), открывшего усиление или ослабление линий в спектрах при переходе от Вольтовой дуги к искре (имеющей более высокую температуру), а также в работах А. К. Мори содержались элементы двухмерности. Именно первый, т. е. Н. Локьер

пытался связать классы спектров с физическими условиями в звездных атмосферах. В частности, необходимость этого стала очевидной после того, как Э. Герцшпрунг обнаружил, что звезды подгруппы „с“ в классификации Мори имеют высокую светимость (1907—1909 гг.). Вторым параметром классификации, наряду с классом спектра, явился класс светимости. Появились названия звезд: карликов, гигантов, сверхгигантов, субгигантов, субкарликов, белых карликов и т. д.

В 1914 г. В. Адамс и А. Кольшуттер из Маунт-Вилсона опубликовали результаты определения спектральных параллаксов звезд.

Двухмерная классификация была разработана в Йеркской обсерватории, после появления атласа спектров В. В. Моргана, Ф. К. Киллмана и Е. Кильмана (1943 г.).

В настоящее время та же задача решается другим путем, по непрерывным спектрам (а не линиям), в Парижском институте астрофизики под руководством Д. Шалонжа.

В последних работах ряда ученых намечается также построение трехмерной классификации: по классам спектров, классам светимостей и обилию элементов (последнее, в частности, для поздних углеродных звезд). Изучение ряда пекулиарных объектов (в частности, звезд Вольф-Райе, открытых еще в 1867 г.) потребовало создания специальной классификации, которая для этих объектов была разработана трудами К. С. Билса и Б. А. Воронцова-Вельяминова. Тоже можно сказать и о звездах с большими скоростями в Галактике (по данным В. И. Ивановской, 1950 и др.), типа А с усиленными металлическими линиями переменной интенсивности и др. Во многих случаях эти последние звезды показывают магнитную интенсификацию линий (Ф. В. Бэбкок), которая в некоторых случаях коррелируется с переменностью магнитных полей звезд (например у $BD-18^{\circ}3789$).

Звезды подгруппы „в“ в классификациях Мори оказались быстровращающимися. Скорость осевого вращения можно определять по профилям линий в спектрах, что предлагал еще в 1877 г. В. Абней. Однако осуществить это с нужной точностью удалось только в 1929 г. в совместной работе О. Л. Струве и Г. А. Шайна. По дифференциальным же сдвигам линий компонент затменно-переменных звезд осевое вращение было обнаружено ранее у звезды δ Весов и др. Ф. Шлезингером (1909 г.).

Первое пионерское в СССР, спектрофотометрическое исследование звезды γ Кассиопеи, выполненное В. А. Амбарцумяном и Н. А. Козыревым (1932) и последующая дискуссия этого вопроса с О. Л. Струве привела к критической проверке ротационной гипотезы последнего об уширении линий в этой и подобного типа Ве звезд.

Уширение линий, обусловленное турбулентными движениями в атмосферах звезд было обнаружено методом „кривых роста“ в 1934 году, О. Л. Струве и К. Т. Эльви.

В последующие годы О. Л. Струве и Су Шу-хуан'ом, был разработан метод для раздельного изучения мелкомасштабной и крупно-

масштабной турбулентции (или конвекции, вращения) в звездных атмосферах.

Наряду с процессами, ведущими к уширению всех звездных спектральных линий, были обнаружены и такие явления, при которых, например, у ранних звезд типа В, уширены только одни группы линий, в то время как другие сохраняются узкими. Еще 1922 г. Р. Е. д'Аткинсон считал, что уширение водородных звездных линий обусловлено ионными полями в звездных атмосферах, что было подтверждено Г. Н. Ресселом и Д. К. Стюартом, в 1924 г. Той же причиной объясняли уширение линий гелия в спектрах В звезд, О. Л. Струве и К. Т. Эльви и, позднее, А. Унзольд, А. Паннекук и С. Вервей, Э. Ван Дин, И. Г. Гусев и др. Существенным подтверждением явилось открытие в спектрах ряда звезд запрещенной линии [HeI] 4470 Å. Известно, что появление этой линии, по соседству с разрешенной 4471 Å, является свидетельством наличия электрических полей (явление Штарка).

Было обнаружено также уширение линий, обусловленное наличием постороннего газа или даже собственным давлением и т. д.

Все эти данные значительно расширили наши сведения о звездных спектрах, особенно если учесть тот факт, что к этому времени была создана теория ионизации индийского ученого Мег Над Саха, были хорошо разработаны теории образования линий Шустера-Шварцшильда, Милна-Эддингтона и др.

Изучение непрерывных спектров звезд также принесло много сведений о строении звездных атмосфер. Действительно, применением формулы М. Планка (1900 г.) можно было бы определить "температуры" звезд, а сравнением с теорией найти те факторы, которые обуславливают непрерывное поглощение или непрозрачность звездных атмосфер (фотосфер). Именно так было изучено, что основное непрерывное поглощение в ранних звездах определяется атомарным гелием и водородом, в средних типах звезд отрицательными ионами водорода и в поздних — молекулярным поглощением.

Наиболее точные визуальные исследования непрерывных спектров звезд впервые выполнены Ю. Шейнером и Ю. Вильзингом в Потсдаме в области спектра 4500—6400 Å. В 1909 г. был опубликован каталог 109 звезд. Работу продолжал (но фотографически) Г. Розенберг в области 3400—5700 Å (1914 г.). Оказалось, что температуры звезд по непрерывным спектрам составляют от 3000 до 10000° K для звезд классов спектров от М до А—В. При этом, эти цветовые "температуры" хорошо коррелируются с классом спектров, что соответствовало корреляции классов спектров и цветов, известной ранее (еще в классификации А. Секки).

Знание температуры и светимости позволило оценить звездные радиусы. Оказалось, что красные гиганты Арктур и Антарес имеют радиусы в несколько десятков солнечных, а красный карлик "Грумбридж 1618" — наоборот гораздо меньше солнечного.

Обширные исследования по определению цветовых температур (спектрофотометрических) в СССР выполнил В. Г. Фесенков (1927—1931 гг.). Ряд работ, также в СССР, выполнен Б. А. Воронцовым-Вельяминовым (для звезд Вольф-Райе и др.), С. К. Всехсвятским, О. А. Мельниковым, Л. В. Мирзояном, Н. Л. Ивановой, М. В. Долидзе и др.

За границей таких работ выполнено очень много. Особенно выдающимися являются работы, сделанные в Гринвиче, Гёттингене, Париже, Эп-Арборе и др. При этом оказалось возможным не только измерить спектрофотометрические температуры, но и учесть искажающее влияние на них ослабляющей свет межзвездной среды. Оказалось, согласно исследованию ряда ученых, что это ослабление изменяется с длиной волны. По О. А. Мельникову в области коротких волн оно почти не зависит от длины волны, а в области длинных волн подчиняется закону Релея (т. е. пропорционально λ^{-4}).

Это ослабление обусловлено пылевой межзвездной средой (металлы, диэлектрики), с которой также связано (хотя бы частично) явление поляризации звездного света, обнаруженное Д. С. Холлом и В. А. Хильтнером, а также независимо от них В. А. Домбровским (1949—1950 гг.).

Гораздо ранее, чем пылевая среда, обнаруженная Г. А. Тиховым в 1910 г., была замечена Д. Гартманом в 1904 г. газовая межзвездная среда, дающая стационарные линии *Call H* и *K* в спектре двойной δ Ориона.

Позднее были обнаружены межзвездные линии D_1 , D_2 , *NaI*, *TiII*, *Fel*, *CaI* и др., а также и линии полос молекул *CH*, *CH⁺*, *CN* и многие еще неизвестного происхождения (4430 Å и др.).

Большой вклад в эту область был сделан К. С. Билсом (1936), В. С. Адамсом (1948—1949 гг.), обнаружившими расщепление линий на компоненты, обусловленное облачной структурой межзвездного газа. Основываясь на этом, О. А. Мельников (1949 г.), по методу кривых роста, нашел, что эти облака межзвездного газа имеют „турбулентные“ движения со скоростями порядка ± 8 км/сек.

Важные исследования межзвездных линий и среды вообще выполнили также П. В. Меррилл и Р. Е. Вилсон, Б. А. Воронцов-Вельяминов и др. Последний, в частности, большое внимание уделил генетической связи между звездами и межзвездной средой.

Теорию вопроса о межзвездной среде (распределении в Галактике, облачной структуре и т. д.), имеющей клочковатый характер и обуславливающей, в частности, флуктуации в числе внегалактических туманностей, разработал В. А. Амбарцумян в целом ряде работ (1938—1950 г.г.).

После того, как в Йеркской и Макдональдской обсерваториях был разработан специальный „небулярный“ спектрограф (1937), с помощью этого интересного инструмента О. Л. Струве и К. Т. Эльви обнаружили области со свечением водородных линий в соседстве с

О—В звездами. Это слабые HII^* области с электронными температурами $10000-15000^\circ K$. С удалением от горячих звезд они переходят в HI области с температурами в $100-500^\circ K$. В областях HII были найдены также запрещенные свечения OII , NII , SII и др. Плотность в них составляет до 1 электрона и иона в $см^3$, что в несколько сотен раз меньше чем, например, в большой туманности Ориона. Условия свечения межзвездного водорода в Галактике вообще были выяснены Г. К. ван де Холстом и И. С. Шкловским, в результате чего и была обнаружена радиоастрономами линия 21 см, обусловленная переходом между подуровнями сверхтонкой структуры первого водородного состояния.

До сих пор мы касались изучения физики звезд по их спектрам. Согласно Т. Денхему (1956), это изучение, начатое еще Фраунгофером, можно разбить на три этапа, в соответствии с уровнем спектроскопической техники.

Первый этап характеризуется применением визуальных спектроскопов с разрешающей силой около 1000, т. е. на пределе разрешались линии D_1 , D_2 натрия. Этот период (1817—1863 гг.) связан с именами Ж. Фраунгофера, А. Секки и В. Хёггинса. В частности последний впервые обнаружил в спектрах ряда ярких звезд элементы Na , Mg , Fe , Ca , H и др. (1863 г.).

Второй этап характеризуется применением фотографических методов регистрации спектров звезд и связан с именами В. Хёггинса и В. А. Миллера, Г. Дренера, Н. Локьера, Ф. А. Бредихина и др. В этот период (1863—1888 гг.) была применена фотографическая призмная камера, что дало возможность получить разрешающую силу до 5000.

Третий этап (с 1888 г. и по настоящее время) характеризуется развитием щелевых фотографических спектроскопов, или иначе, спектрографов с разрешающей силой до 30000 и более.

В современных Куде спектрографах, установленных в неподвижном фокусе, свободно разделяются, например, железные линии 3918,318 и 3918,418 Å, что говорит о разрешающей силе 80000! Этот период спектроскопии связан с именами Г. К. Фогеля и Ю. Шейнера, А. А. Белопольского, Г. Ф. Ньюолла, Д. Е. Киллера, В. В. Кэмпбелла, В. М. Слайфера и др. в первую половину и с именами О. Л. Струве, Д. Гринстейна, Л. Х. Аллера, Т. Данхема, Д. Шалонжа, Б. Эдлена, Г. Кинле, Д. Менцеля, А. Б. Эндерхилл, А. Унзоляда, Х. Д. Бэбкока и Х. В. Бэбкока, Б. Маклофлина, П. В. Мерилла, А. Джоя, А. Дейча, К. С. Билса, Р. Вулли, В. А. Амбарцумяна, Н. А. Козырева, Б. А. Воронцова-Вельяминова, Г. А. Шайна, А. Б. Северного, Э. Р. Мустеля и многих других.

Изучение звездных спектров, вида и интенсивностей линий, привело к раскрытию картины физики их атмосфер. Измерение же сдви-

* HII и HI —области*—области межзвездного пространства, где преобладает ионизированный (HII) или нейтральный (HI) водород.

гов линий дало очень много в деле изучения кинематики и динамики звезд и звездных систем.

Первые попытки определения сдвигов линий по принципу Доплера-Физо визуальным способом сделал еще В. Хёггинс. Более десятилетия их также определяли в Гринвиче, но точность оказалась слишком низкой. Только после внедрения фотографического метода удалось ее повысить до удовлетворительного значения. Это сделали в Потсдаме Г. К. Фогель и Ю. Шейнер в 1888 г. и еще более уверенно, с ошибкой $\pm 2,6$ км/сек, А. А. Белопольский в Пулкове с 30-дюймовым рефрактором в 1890 и последующих годах. Для обоснования этих наблюдений последний осуществил также лабораторную проверку принципа Доплера-Физо в применении к свету (1900 г.). Вторично работа была повторена еще точнее, также в России, Б. Б. Голицыным и И. И. Виллипом (1907 г.).

А. А. Белопольский измерил лучевые скорости многих звезд, обнаружив при этом ряд новых спектроскопически—двойных и спектрально-двойных.

Первой спектроскопически-двойной звездой была открыта звезда Мицар (в Гарварде, Э. Пикеринг, А. К. Мори, 1889 г.); ее компоненты близки по блеску и линии в спектре периодически раздвигаются. Наоборот, в спектре Спика видны периодически сдвигающиеся, но одиночные линии (К. Г. Фогель, 1890 г.), т. е. блеск компонента слабее 0^m.7, а при этом видимость его линий исчезает.

Вскоре таких звезд стало известно до 50 (1900 г.), а теперь значительно больше.

Спектрально-двойные звезды также многочисленны (пример 89 Водолея G0+A2), но видимость двух систем линий обусловлена в них различием классов спектров.

Значительный прогресс в определении лучевых скоростей был достигнут в Ликской обсерватории и ее Милской экспедиции в Чили. Значительно улучшив подвес спектрографа к телескопу (В. Г. Райт, 1905 г.), в Лике смогли довести точность измерения лучевых скоростей звезд с резкими линиями до $\pm 0,25$ км/сек (В. В. Кэмпбелл в 1896 г. и позднее, а также Д. Г. Мур и др.).

Появились замечательные каталоги лучевых скоростей звезд, выполненные в Маунт-Вилсоне, Виктории, Лике, Йерксе, СССР и др.

В Советском Союзе первый каталог был создан Г. А. Шайном и В. А. Альбицким в Симеизском отделении Пулковы (343 звезды). В последующем были опубликованы четыре дополнения (305 звезд), причем все наблюдения и вычисления были выполнены в кратчайший срок—за 2,5 года (с 1929 по 1932 гг.).

В недавнее время в Маунт-Вилсоне был закончен Р. Е. Вилсоном сводный каталог лучевых скоростей звезд числом около 15000. Эти скорости были получены со щелевыми спектрографами. В последние годы к ним добавились измерения с призмными камерами в Гар-

варде, Упсале, Пулкове и особенно активно во Франции (Ш. Ференбах и др.).

Уже в прошлом столетии метод определения лучевых скоростей по сдвигам линий в спектре был применен для определения скорости осевого вращения Солнца.

В последующем, согласно международному соглашению, весь спектр Солнца был разбит на участки с одной общей областью и работа велась в ряде обсерваторий, ибо именно это должно было обеспечить нужную точность.

В 1925 году в Пулкове был получен 7-метровый дифракционный спектрограф, с помощью которого А. А. Белопольский стал определять скорость вращения Солнца по участку 3820—4000 Å, где сдвиги линий составили всего лишь несколько сотых миллиметра. Результаты публиковались в Бюллетене Комиссии по исследованию Солнца вплоть до 1934 г., т. е. до последних лет жизни Аристарха Апполоновича.

Тот же метод изучения сдвигов линий из-за вращения тел был применен А. А. Белопольским и к планетам, особенно успешно к Сатурну и его кольцу (противостояние 1895 г. и др.). Наблюдения велись на 33 см астрографе и спектрографе. Одновременно с другими учеными (Киллер, Деландр и др.) А. А. Белопольский показал, что кольцо вращается не как твердое тело и состоит из мелких тел, что согласовывалось с голубым характером его спектра, отмеченным им одновременно.

Параллельно с исследованиями сдвигов линий, проводилось, как указывалось, изучение интенсивностей линий в спектрах звезд и планет. Интенсивность линий служит мерой числа поглощающих атомов. Поэтому сравнение наблюдаемых интенсивностей линий с теоретически предполагаемыми (рассчитанными методами квантовой механики) и с измеренными в лаборатории дает возможность определения обилия данного элемента в атмосфере звезды. Пионерами подобных исследований были А. Паннекук, Г. Я. Рессел, О. Л. Струве, В. В. Морган, К. Т. Эльви, Г. А. Шайн и др.

Еще Н. Локьер заметил (около 1873 г.) значительные различия в температуре звезд путем сопоставления их спектров с лабораторными спектрами в электрической дуге и искре. Линии с высокими энергиями возбуждения наблюдались только в высокотемпературной части дуги в середине разряда, или даже только в искре, где многие линии „усиливались“. Линии с меньшими энергиями возбуждения, низкотемпературные, наблюдались по всему пламени разряда. В частности линия 4227 Å *CaI* в дуге оказалась значительно более интенсивной чем линии 3933 и 3968 Å *CaII*. Отсюда был сделан вывод, что температура Солнца выше чем дуги, ибо в его фраунгоферовом спектре последние две линии гораздо интенсивнее первой. Обратное, было получено для солнечных пятен, температура их оказалась ниже, чем в солнечной атмосфере, что согласуется с наличием более заметных полос поглощения молекул в спектрах пятен. Большое различие ин-

тенсивностей линий железа в спектре излучения хромосферы по сравнению с лабораторными, чего не наблюдается в фраунгоферовом спектре, было объяснено ее высокой температурой, что, как известно сейчас, в большей степени обусловлено соответствующей электронной плотностью (низкой). Спектр Денеба с подавляющим числом усиленных высокотемпературных линий железа ($FeII$) и спектры Орионовых В-звезд с высокотемпературными линиями N , O , C (а позднее и HeI , $HeII$) также были истолкованы наличием высоких температур. Наоборот, спектры Арктура, Альдебарана и особенно Бетельгейзе с молекулярными спектрами считались низкотемпературными.

Наличие обращающего слоя Солнца—места эффективного образования линий поглощения, было установлено во время затмения 1870 г. К. А. Юнгом. Теория переноса излучения сквозь него была создана в результате решения уравнений А. Шустером (1902—1905 гг.) и К. Шварцшильдом (1906—1914 гг.). Теория строения, ионизации и возбуждения атомов в атмосферах звезд была создана в результате работ Л. Больцмана, Н. Бора (1913—1915), М. Н. Саха (1922), Е. А. Милна и А. Фаулера (1924), А. Паннекука и др. Специальный вопрос—ионизация атомов в оболочках, окружающих звезды—был изучен В. А. Амбарцумяном (1935 г.), давшим соответствующую формулу.

Оказалось, что линейчатые спектры звезд, их различие обусловлены в наибольшей степени характером и силой возбуждения и ионизации атомов в их фотосферах, дающих континуум и темные линии, а также хромосферах, дающих светлые линии. В начале употреблялся статистический метод анализа линий, основанный (В. С. Адамс Г. Н. Рессел, 1928) на методе калибровки глазомерных интенсивностей линий в спектре Солнца Г. Роуланда в числах эффективных атомов (В. С. Адамс, Г. Н. Рессел, М. Е. Мур, 1928). После же анализа работ Шустера-Шварцшильда, давших формулу профиля звездных линий поглощения, определение обилия атомов делалось по отдельным, особенно сильным, резонансным линиям. При этом для коэффициента поглощения в линии использовалась классическая (Д. К. Стюарт, 1924) или квантово-механическая (А. Уизольд, 1927 г.) формула.

Весьма существенные исследования по определению чисел атомов звездных атмосферах были опубликованы в трех работах В. А. Амбарцумяна (1929—30 гг.).

В дальнейшем после работ В. Миннзерта, Д. Менцела, О. А. Мельникова и многих других, по определению обилия атомов в атмосферах, снова возвратились к статистическому, но более точному спектрофотометрическому методу „кривых роста“.

Применение принципа Доплера позволило не только судить о движении самой звезды, но и о тепловом и др. движении поглощающих атомов в ее атмосфере, которое различно сказывается на линиях разных элементов и в разных частях профиля одной и той же линии. То же можно сказать и о влиянии давления, столкновений атомов, электрических и магнитных полей и т. д.

Именно поэтому изучение профилей линий и их полных интенсивностей методами спектрофотометрии позволяет изучить строение и физические свойства атмосфер звезд.

Особенно большие успехи в этой области были достигнуты в два последних десятилетия. Именно для этих исследований во многих странах были созданы очень хорошие спектроскопические лаборатории (особенно в Пасадене, США), которые органически связаны с обсерваториями.

В России в Пулкове спектроскопическая, хорошо оборудованная лаборатория, была организована еще Б. Гассельбергом, которого и сменил на этом посту А. А. Белополюский.

Сейчас в Пулкове строится специальное новое здание спектроскопической лаборатории. Аналогичная или еще более широкого профиля лаборатория строится и в Крыму близ гор. Бахчисарай (в Крымской обсерватории).

Большую пользу в деле изучения звездных спектров сыграли результаты исследования негативов, полученных в высокогорных экспедициях. Начало этому было положено группой парижских астрономов под руководством Д. Шалонжа в тридцатых годах и до сего времени исследования продолжают (Швейцария, 3650 м над ур. моря) в стационарных условиях. Аналогичные экспедиции были организованы пулковскими (О. А. Мельников и др.) и бюраканскими (Л. В. Мирзоян и Н. Л. Иванова) астрономами в тесном содружестве (в 40, 50-х гг.).

Исследования, выполненные в подобных экспедициях раскрыли сущность явления „ультрафиолетового быльмерзовского скачка“ и много других важных характеристик $УФ$ -континуумов звезд.

Естественно, что спектроскопические исследования не ограничились звездами и Солнцем. Изучались также и туманности, как планетарные, так и газовые или газопылевые. Изучение этих интересных объектов было начато еще в прошлом столетии Ф. А. Бредихиным в Москве. Именно он один из первых визуально изучал загадочные „небулярные“ линии спектров туманностей.

Новые возможности открылись после разработки теории свечения планетарных туманностей Г. Занстра и В. А. Амбарцумяна с одной стороны и внедрения в практику „небулярных“ спектрографов (для газово-пылевых туманностей) с другой. Упомянутые выше небулярные спектрографы, гасящие сильный, мешающий непрерывный спектр неба, установлены в СССР в Крыму* (С. Б. Пикельнер и др.), Бюракане* (Г. А. Гурзадян) и в измененном виде на станции Государственного Астрономического Института (Н. Н. Парийский и др.). Исследования с этими инструментами дали о диффузных туманностях много новых сведений и, в частности, в вопросе об обилии газа и пыли в них.

Отметим, что первое, пионерское в СССР исследование спектров

* Конструкция Б. К. Иоаннисиани, изготовление Гос. Оптического Института.

туманностей (монохроматических изображений) путем сравнения их спектров для звезды типа G было выполнено В. А. Амбарцумяном в 1933 г.

Успешно изучались спектры планет. В СССР этим вопросом занимались А. А. Белопольский, Г. А. Тихов, Н. П. Барабашев, Н. А. Козырев и др. Однако работы носили преимущественно колориметрический характер. В настоящее время теоретической основой в изучении атмосфер планет являются важные исследования по теории рассеяния излучения В. А. Амбарцумяна, его ученика В. В. Соболева и др. За рубежом большой вклад в планетную спектроскопию внесли В. М. Слайфер, Р. Вилдт, В. Г. Райт, Г. П. Кайпер, Г. Герцберг, Н. Бобровников, С. Чандрасекар (по теории) и др. Первые работы были сделаны визуально: А. Секки и В. Хёггинс в XIX в. обнаружили темные полосы в спектре урана.

Многое дало и изучение спектров комет. В СССР его начали Ф. А. Бредихин, А. А. Белопольский, Г. А. Шайн, С. В. Орлов, С. К. Всехсвятский, В. С. Шульман и др.

За рубежом этим занимались многие ученые. Наибольший вклад был сделан П. Свингсом, под руководством которого сейчас подготовлен атлас спектров большинства известных комет.

Интересными были и теоретические исследования по спектрам комет, в частности С. М. Полоскова о видимости излучений, полос в спектрах голов и хвостов комет. Наблюдаемые полосы оказались резонансными и поэтому отсутствие тех или иных полос, при наличии данного химического соединения в комете, обусловлено тем, что их резонансные излучения расположены в трудно доступной области спектра.

Весьма активно изучались и спектры метеоров и болидов. Долгие годы С. Н. Блажко был обладателем наибольшей их коллекции. Ему «везло», но кроме того, он специально «охотился» за ними и разработал метод редукций спектрограмм с изображениями линий метеоров.

Также в СССР тем же вопросом занимались А. М. Бахарев, Д. Л. Аставин-Разумин, И. С. Астапович, В. В. Федынский и др. Сейчас наибольшая коллекция спектров метеоров находится за рубежом и периодически пополняется. Р. М. Милман в Канаде составил сводку 214 фотографических спектров метеоров (по 1957 г.).

Здесь же следует указать и на исследование спектров метеоритов. В России этим занимались еще А. П. Ганский (1905 г.) и Н. Н. Калинин, а в СССР в 1950 г. А. А. Явнель (Сихотэ-Алиньский метеорит 1947 г.) и др. Изучение интенсивностей линий ответило на вопрос о точном химическом составе метеорита. Изучение спектров подобных тел непрерывно продолжается, как в СССР, так и за рубежом.

Большой вклад в мировую науку был сделан при спектроскопическом изучении различных вопросов атмосферной оптики. «Теллурические» линии, открытые еще Д. Брюстером, изучал в Петербурге и Ораниенбауме физик Н. Г. Егоров и доказал их безусловную принадлежность атмосфере Земли (1882 и последующие годы).

Аналогичные исследования за рубежом выполнили А. Беккерель

Д. Гладстон, Г. Деляндр, П. Ж. С. Жансен, А. Корню, Р. Копеланд, С. Ланглей, Г. Мюллер, К. Смайс, Л. Толлон, Г. К. Фогель и др. в XIX в. П. Ж. С. Жансен еще в 1862 г. доказывал, что теллурические линии обусловлены парами земной атмосферы. Для изучения поглощательных свойств земной атмосферы в конце этого столетия Г. А. Тихов поднимался на Монблан (4810 м над уровнем моря) и позднее продолжал эти исследования в Пулковке и ряде экспедиций, за время которых доказал, в частности, наличие аномальной дисперсии атмосферы Земли в соседстве с теллурическими полосами в спектре прошедших лучей заходящего и восходящего Солнца.

Вопросом отождествления теллурических линий в спектре Солнца занимался также в Пулковке на 7-метровом дифракционном спектрографе В. Н. Кондратьев с сотрудниками (1932—35 гг.). При этом было открыто много новых теллурических линий.

Вопросом общей (непрерывной) спектральной дневной и ночной прозрачности земной атмосферы занимались много и на разных высотах. Обширная монография по этому вопросу вышла в последнее время в результате исследований Е. В. Пясковской-Фесенковой.

Теоретические исследования, вместе с наблюдениями, опубликованы В. Г. Фесенковым, В. А. Кратом и др. Работы опубликованы также П. И. Дугиным, М. В. Севастьяновой, В. И. Кучеровой, В. С. Соколовой, Н. Н. Сытинской, Л. В. Мирзояном, Е. Н. Котовой, Т. Г. Мегрелишвили, В. Б. Никоновым и многими другими (для ряда точек СССР).

К разделу атмосферной оптики примыкает также изучение свечения дневного, сумеречного и ночного неба. Особенно быстрый прогресс в этой области был достигнут в результате развития электроники. Применение электронно-оптических преобразователей позволило В. И. Красовскому найти новые инфракрасные полосы (1949 г.), отождествленные И. С. Шкловским с полосами гидроксидов OH .

Интересной и трудной задачей для астроспектроскопистов является получение спектров зодиакального света и противостояния (Н. А. Козырев, М. Г. Каримов, Н. Н. Парийский, З. В. Корягина, К. Т. Эльви и П. Радник и др.).

Работы астрономов тесно связаны с геофизическими. Эта связь особенно укрепились в течение МГГ (1957—58 гг.). Так например, в программе МГГ важное место занимают исследования по спектрам полярных сияний, начатые еще визуально в Пулковке в 1868 г. О. В. Струве и продолженные фотографически И. И. Сикорой по материалам, полученным во время героической русско-шведской экспедиции на Шпицберген (1899—1901 гг.).

В последнее время в СССР этим вопросом много занимались С. С. Журавлев, И. И. Лебединский, А. В. Миронов и Н. И. Шефов, Б. А. Багарецкий, Ю. И. Гальперин, В. И. Красовский и др. Получение спектров полярных сияний требовало применения оригинальных конструкций спектрографов (в частности типа „небулярных“) и элект-

тропно-оптических преобразователей. Любопытно, что в 1939 г. за рубежом Л. Вегард, а за ним В. Гортлейн и А. Мейвел (1957 г.) зарегистрировали в спектре некоторых полярных сияний три блестящие линии водорода, которые были очень широки и сдвинуты в ультрафиолет. Тоже наблюдал в 1957 г. Ю. И. Гальперин на станции СССР в зоне полярных сияний. По величине этого сдвига была определена максимальная скорость залета корпускул-протонов, которая, как оказалось, достигала 2000 км/сек.

Г. А. Тихов и его ученики применили спектральный анализ для изучения отражательных спектров растений с целью обнаружить растительность на Марсе. При этом было доказано самоизлучение растений в ряде областей спектра, изменяемость полосы хлорофилла в спектрах растений с переходом к более суровым условиям, особенности спектров отражения растений и т. д. Благодаря этим исследованиям появился новый раздел астрономии—Астробиология.

В еще большей степени, чем при изучении планетной и галактической системы, развитие спектрального анализа сыграло решающую роль при изучении Метагалактики.

С его помощью были изучены закономерности осевого вращения галактик, угловая скорость которого оказалась различной на разных расстояниях от центра.

Сопоставление фотометрических, колориметрических, спектральных и радионаблюдений галактик дало возможность ответить на вопрос о направлении вращения спиральных рукавов галактик типа S. Впервые скорость большой Галактики в Андромеде по сдвигу линий в спектре измерил в 1912 г. В. М. Слайфер.

При спектроскопическом изучении Метагалактики наблюдается так называемое „красное смещение“ линий в их спектрах, которое пропорционально ($\Delta\lambda \sim \lambda$) длине волны света во всем диапазоне от ультрафиолетового и до радиодиапазона (т. е. $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \text{const}$ или $c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} =$

$= \text{const}$) и не может быть отделено от доплеровского смещения. Соответствующие наблюдения 600 галактик были произведены в Маунт-Вилсоне и Паломаре (1928—1958), в частности, первоначально Ф. Пизе, затем М. Л. Юмассоном и др. Для этой цели использовались два самые мощные отражательные телескопа США—100 и 200-дюймовый.

В настоящее время наибольший измеренный сдвиг линий составляет $1/5$ скорости света ($+60920$ км/сек, в среднем для трех галактик. Если эти сдвиги являются доплеровскими, т. е. соответствуют движению (удалению) галактик, то истинная скорость согласно релятивистскому уравнению будет меньше чем $c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ (например, на 10% при

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{5}).$$

Исследовались спектры периодических переменных типа цефеид, долгопериодических, затменных и другие.

Много новых сведений было получено из изучения спектров Новых и Сверхновых звезд (Ц. Пэйн-Гапошкин, Д. Б. Маклофлин, Р. Минковский, Э. Р. Мустель и др.).

Однако, самый большой вклад остается за самой еще малочисленной группой переменных, нестационарных звезд: типа Т Тельца, AG Дракона, UV Кита и вообще вспыхивающих. В их спектрах удалось обнаружить непрерывную эмиссию еще неизвестной природы и особенного распределения по спектру. Для обычного, температурного излучения, интенсивность I_λ убывает с возрастанием длины волны (λ) пропорционально λ^{-4} : $I_\lambda \sim \lambda^{-4}$ при $T \rightarrow \infty$, а например, в спектре звезды VY Ориона $I_\lambda \sim \lambda^{-4.1}$ (К. Г. Бем, 1957). Эта эмиссия либо выделяется в коротковолновом участке спектра, либо „заливает“ или вуалирует дискретные линии в нем. „Нетепловые“ спектры обнаруживаются и у некоторых туманностей (например, Крабовидной), $I_\lambda \sim \lambda^{-4}$ в области 3300–3000 Å (П. В. Щеглов, 1957), у Новых и Сверхновых звезд, „радиозвезд“ (в радиодиапазоне), или иначе дискретных радиосточников, у которых $I_\lambda \sim \lambda^{-2.5} \pm \lambda^{-4.2}$ (Г. Р. Вайтфильд, 1957 г.) и т. д.

Явление непрерывной эмиссии, которое было открыто в спектрах нашими зарубежными коллегами, сейчас особенно подробно изучается теоретически в СССР В. А. Амбарцумяном, а также И. М. Гордоном и др. Развивая свою весьма оригинальную идею о звездных ассоциациях, В. А. Амбарцумян обнаружил, что звезды типа Т Тельца, показывающие явления непрерывной эмиссии составляют звездные ассоциации — „Т-ассоциации“, а некоторые „О-ассоциации“ одновременно являются и „Т-ассоциациями“ и т. д.

Первая классификация звезд типа Т Тельца, а также UV Кита, AG Дракона, RW Возничего и др., анализ их случайных колебаний блеска, цвета, спектра, а также генетическая связь с диффузными, в частности, кометообразными, туманностями, привел В. А. Амбарцумяна к заключению, что явление непрерывной эмиссии не есть тепловое или температурное*. Оно, по-видимому, связано с освобождением, больших внутризвездных дискретных порций энергии (ДИП) в наружных областях звезд с дальнейшей ее переработкой в оптическое излучение. Таким образом эти исследования В. А. Амбарцумяна открывают большие перспективы для изучения природы нового, пока еще таинственного излучения. В этом явлении безусловно лежит разгадка многих „тайн“ Вселенной. Возможно, что в некоторых случаях излучение является синхротронным**. Наблюдательной проверке посвяще-

* Термин „нетепловое“ излучение, по-видимому, впервые введен В. А. Амбарцумяном (1956 г.), а не автором этой статьи, как им было неточно указано (1958 г.).

** По И. М. Гордону аномальное распределение энергии в УФ-спектре звезд NX Единорога типа Т Тельца, быстрые колебания блеска и высокая его поляризация объясняются его теорией возбуждения эмиссионных линий в спектрах нестационарных звезд синхротронным излучением релятивистских электронов.

ны работы А. Джоя, Н. Роман, Г. Хербига, Г. Аро, К. Бема, Л. В. Мирзояна и др.

К ведущим направлениям современной астроспектроскопии следует также отнести изучение обилия изотопов в атмосферах звезд и планет. Соответствующие исследования в спектрах N и R , иначе $C=$ —звезд, сделаны в работах Р. Ф. Сэнфорда, Д. Менцела, К. Вурма, А. Маккилара, Г. А. Шайна, Ш. Ференбаха, Г. Герцберга и др.

Оказалось, в частности, что обилие C^{12}/C^{13} сильно отличается от земного (90:1, в коре) и очень колеблется от звезды к звезде.

То же можно сказать и об атмосферном (земаом) обилии O^{16}/O^{18} , O^{16}/O^{17} и других изотопах.

Все это представляет исключительный интерес для космогонии и проблема является ведущей, ибо вопрос о распространенности элементов и их изотопов в природе крайне важен.

К безусловно ведущим проблемам относится также изучение вспышек на Солнце, что обусловило большую активацию этих исследований в СССР и за рубежом.

Из приведенного беглого обзора мы видим, что за 100 лет своего существования астроспектроскопия и спектральный анализ вообще действительно явились и будут являться „языком Вселенной“, рассказывающим нам о многих ее „тайнах“. Весьма существенно, что по мере разработки новых технических средств, спектроскописты все дальше и дальше отвоевывают „белые места“ на картах спектров светил, так что современные исследования, например в случае Солнца, простираются от жестких рентгеновских лучей и до метровых радиолучей. И этот прогресс сделан всего лишь за сто лет!

Победы будущего еще более интересны и золотой фонд мировой науки будет пополнен новыми открытиями и фактами, все более подтверждающими материальность и бесконечность окружающего нас мира.

Главная астрономическая обсерватория

АН СССР

Поступило 28 VIII 1958

О. А. Мельников

ԱՍՏՐՈՍԿՈՍԿՈՍԿՈՊԻԱՅԻ ՀԱՐՅՈՒՐԱՄՅԱԿԻ ՇՈՒՐՁԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգիմտում տրված է աստրոսպեկտրոսկոպիայի դժուկ հարյուր ասարկա ընթացքում կատարված հետազոտությունների համառոտ վերլուծությունը և վեր է հանված այն հսկայական դերը, որ խաղացել է աստրոսպեկտրոսկոպիան, որպես «Տիեզերքի լեզու», վերջինիս «զազունիքների» աստիճանական դարձումը: