

УДК 524.337

## Космический эксперимент АСТРОН

*А.А.Боярчук<sup>1</sup>, Р.Е.Гершберг<sup>2</sup>, В.И.Проник<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт астрономии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 12 сентября 2005 г.

**Аннотация.** Приводятся некоторые характеристики ультрафиолетового телескопа Спика и основные научные результаты, полученные в ходе его работы на космической станции АСТРОН.

**Ключевые слова:** космические астрофизические исследования

---

### 1 Введение

В рамках космического эксперимента АСТРОН в марте 1983 года ракета-носитель Протон вывела на высокоапогейную орбиту телескоп Спика с диаметром главного зеркала 80 см. Идея ультрафиолетового эксперимента была предложена А.Б. Северным и А.А. Боярчуком в КрАО, в КрАО была выбрана, рассчитана и под руководством Н.В. Стешенко изготовлена оптика телескопа, механическая конструкция была разработана и изготовлена в НПО имени С.А. Лавочкина; установленный на телескопе сканирующий спектрометр был рассчитан в КрАО В.К. Прокофьевым и изготовлен совместно с Марсельской астрофизической лабораторией космической астрономии.

АСТРОН был третьим в мире крупным ультрафиолетовым экспериментом. Первый такой эксперимент – КОПЕРНИК (США), реализованный в начале 70-х годов, имел такой же диаметр главного зеркала телескопа, как Спика, но там оно до 30% виньетировалось расположенным в тубусе спектрографом. Диаметр питающей оптики во втором ультрафиолетовом эксперименте ПУЕ, начатом за 5 лет до АСТРОНа, составлял только 45 см, но использование в качестве регистрирующего устройства телевизионной трубки с накоплением существенно повысило проникающую силу аппарата. АСТРОН был первым советским долговременным космическим экспериментом. К сожалению, в то время в СССР еще не было практики проведения таких продолжительных космических наблюдений, и если ПУЕ уже работал круглосуточно, то за 7 лет с АСТРОНа было проведено чуть больше 500 сеансов связи длительностью в несколько часов каждый.

Располагая тремя входными диафрагмами с диаметрами 1", 12" и 78", двумя независимыми механизмами гидирования – непосредственно по исследуемой звезде в центральной диафрагме и по оффсетной звезде для исследования изображений в двух больших диафрагмах, двумя одновременно сканируемыми диапазонами длин волн в ближнем и среднем ультрафиолете, высоким (0.4 Å) и низким (30 Å) разрешением регистрируемых спектров, телескоп Спика имел возможность проводить наблюдения ультрафиолетового излучения самых разнообразных небесных тел - точечных и протяженных объектов, источников в широком диапазоне яркости. Ниже дана сводка общего числа изученных на АСТРОНе объектов разных типов.



**Рис. 1.** Вывоз телескопа Спика из оптического цеха КраО для отправки на космодром Байконур 3 декабря 1982 года.

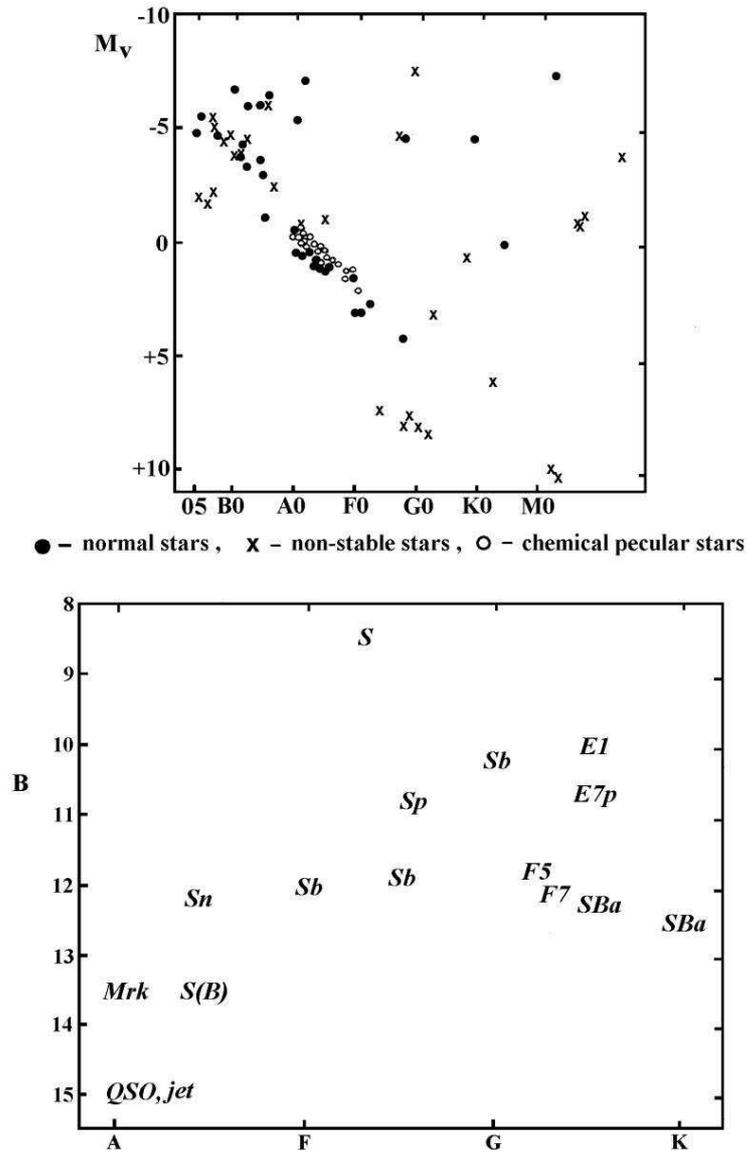
105 звезд с низким спектральным разрешением  
 42 звезды с высоким спектральным разрешением  
 27 звездных систем  
 12 туманностей - остатков сверхновых, диффузных  
 и планетарных туманностей  
 4 кометы  
 15 областей галактического фона  
 всего 205 объектов

15 сеансов по Сверхновой 1987А  
 7 сеансов по комете Галлея  
 6 сеансов по вспыхивающему карлику EV Lac  
 6 сеансов по радиогалактике Дева А  
 64 сеанса по областям галактического фона

Основные результаты этих наблюдений изложены в монографии "Астрофизические исследования на космической станции АСТРОН" под ред. А.А. Боярчука, М. Физматлит, 1994г.

## 2 Звезды

На рис. 2 представлено распределение на диаграмме Герцшпрунга-Рассела звезд, наблюдавшихся с АСТРОНа. Несмотря на то, что таких объектов было чуть больше сотни, они четко обо-



**Рис. 2.** Локализация изученных АСТРОНОм звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рэссела и галактик на диаграмме спектр-величина

значають главную последовательность, намечают ветви сверхгигантов и гигантов и несколько звезд пониженной светимости.

### 2.1 Распределение энергии в спектрах звезд

На рис. 3 представлены 3 выборки из полученных нами распределений энергий в спектрах с низким разрешением полутора десятков звезд. Рис. 3в показывает такие распределения в широком диапазоне спектральных типов от B0 до K0 - четко виден эффект вариации эффективных температур звезд. На рис. 3а представлены распределения энергии в спектрах химически пекулярных звезд сравнительно близких спектральных типов, но разной пекулярности. Эти распределения должны

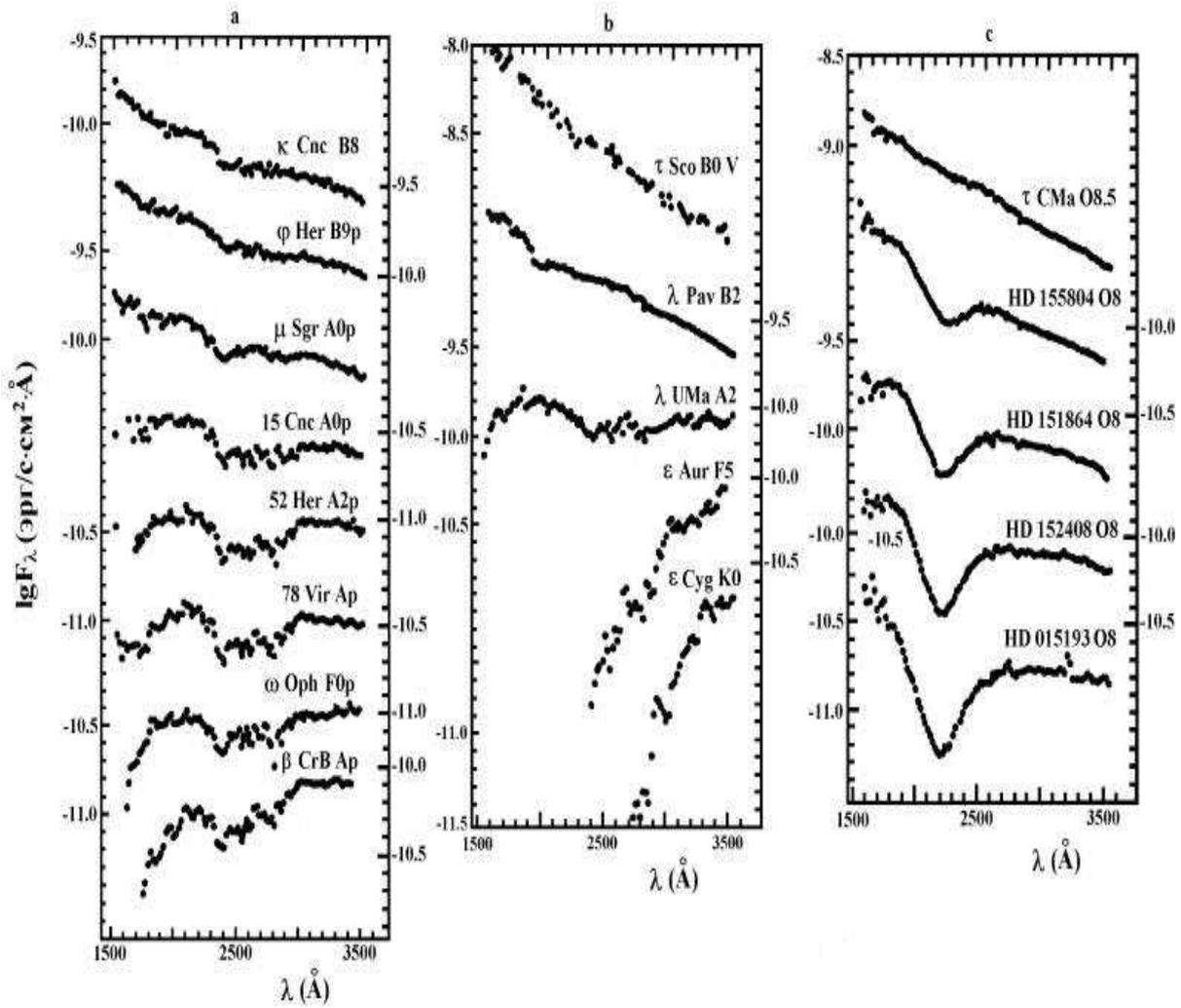


Рис. 3. Распределение энергии в спектрах химически peculiarных звезд (а), нормальных звезд разных спектральных типов (б) и эффект межзвездного поглощения (с)

привести к количественным оценкам химических аномалий; пока такой анализ еще не проведен. Рис. 3с показывает, как на один и тот же спектр типа O8 влияет разное количество поглощающего межзвездного вещества.

## 2.2 Звездный ветер

Наблюдения профилей абсорбционных линий с высоким разрешением в ультрафиолете позволило для ряда звезд оценить характеристики звездного ветра – см. рис. 4. На этом рисунке хорошо видно, что величина звёздного ветра сильно меняется от звезды к звезде. Причем сильно зависит от светимости. Для звёзд класса светимости Ia она достигает 500 км/сек ( $\chi^2$  Ori), а для звёзд главной последовательности равна нулю ( $\tau$  Sco). Кроме того, у некоторых звёзд величина звёздного ветра меняется с высотой. Например: у звезды  $\rho$  Leo по линиям C IV она составляет 780 км/сек, а по линиям Al III звездный ветер не обнаруживается.

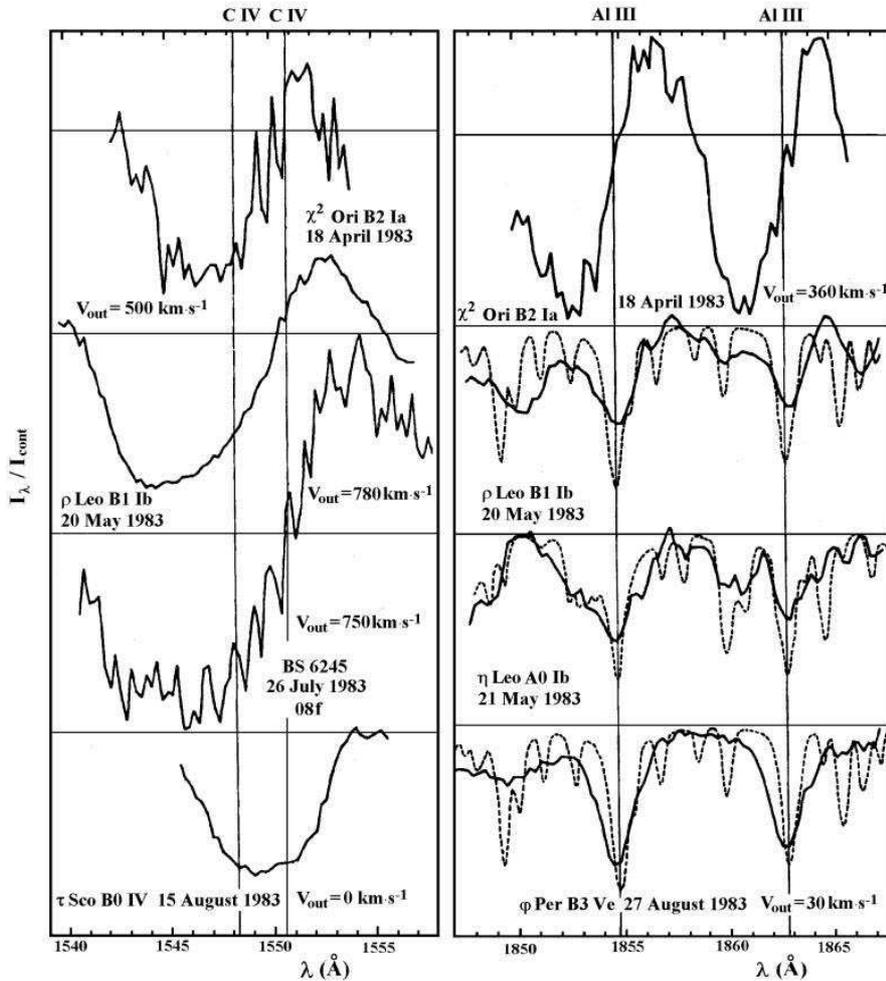


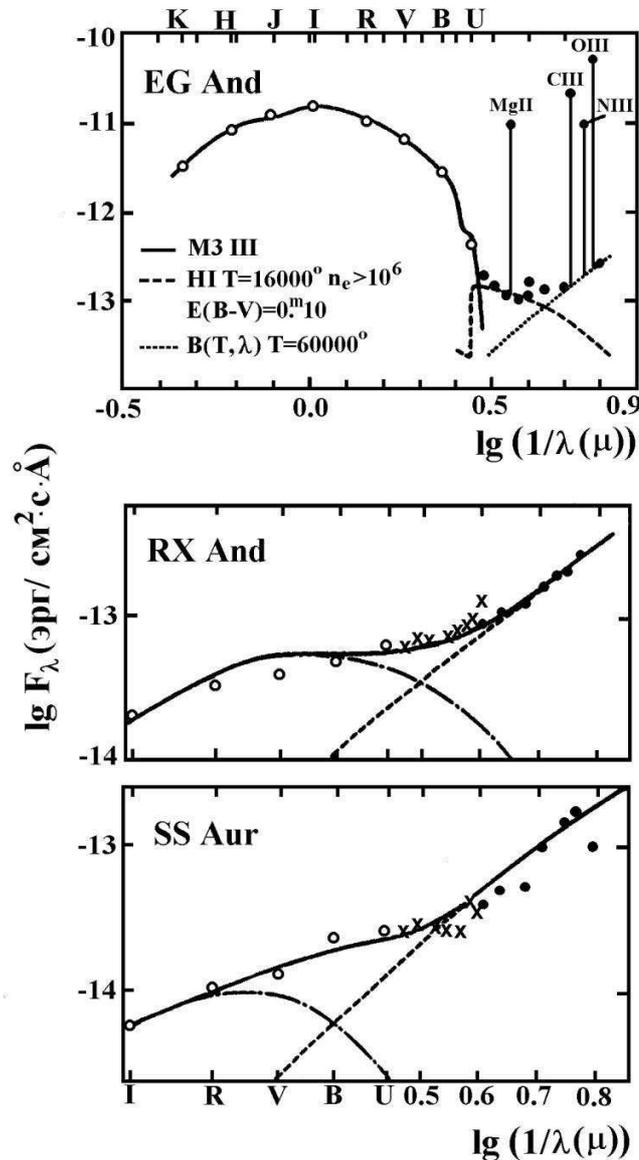
Рис. 4. P Cyg профили резонансных линий C IV и Al III: — наблюдения на АСТРОНе, - - - - модельные расчеты

### 2.3 Нестационарные звезды

АСТРОН дал принципиально новую информацию по нестационарным звездам трех типов.

1. Определение распределения энергии в спектрах одной симбиотической и двух катаклизмических звезд, относящихся к классу двойных систем на поздней стадии эволюции, впервые позволило непосредственно из наблюдений оценить параметры горячих компактных компонентов этих систем, которые ранее получались только из модельных построений при тех или иных предположениях – см. рис. 5. Оказалось, что невидимые в оптическом диапазоне спутники являются белыми карликами с температурой 50000-100000 К.

2. Шесть раз АСТРОН наводился на вспыхивающий красный карлик EV Lac. К сожалению, из-за неудачного взаимного расположения на небе EV Lac и ее гидировочной звезды, одновременное наблюдение этой звезды с помощью АСТРОНа и наземного телескопа в КрАО было возможно только в течение 70 минут. Тем не менее, в двух из шести таких коротких сеансов наблюдений удалось зарегистрировать вспышки на звезде. В первой из них в четвертом канале спектрометра, то есть в нулевом порядке дифракционной решетки, где регистрировалось излучение в диапазоне от 1700 до 6500 Å, удалось четко зарегистрировать вспышку длительностью 2.4 с – см. рис. 6. В то время вопрос о самых быстрых вспышках красных карликов оставался открытым,



**Рис. 5.** Распределение энергии в спектре симбиотической звезды EG And и карликовых новых RX And и SS Aur

поскольку наземные телескопы с обычными фотометрами не давали возможности отличить столь быстрые вспышки от шумовых импульсов. Позднее, когда были проведены наблюдения на 6-метровом БТА САО и на двухканальных фотометрах, реальность секундных звездных вспышек была подтверждена.

Во время другой вспышки EV Lac впервые с разрешением 0.61с был зарегистрирован быстрый всплеск в линии C IV  $\lambda$  1548/51 Å на фоне развития сравнительно медленной вспышки. Его интерпретировали как звездный аналог солнечных быстрых всплесков в рентгене. Лишь через несколько лет аналогичные явления на красных карликах были зарегистрированы на космическом телескопе Хаббла.

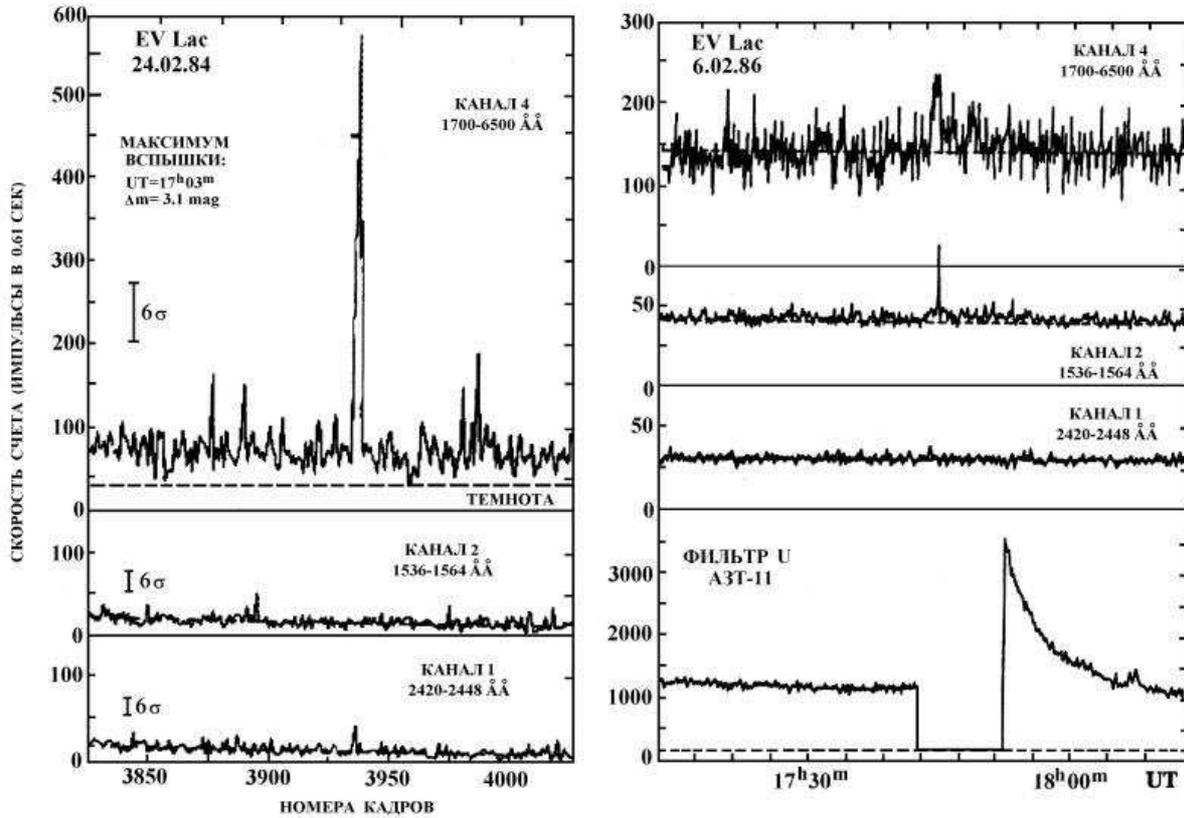
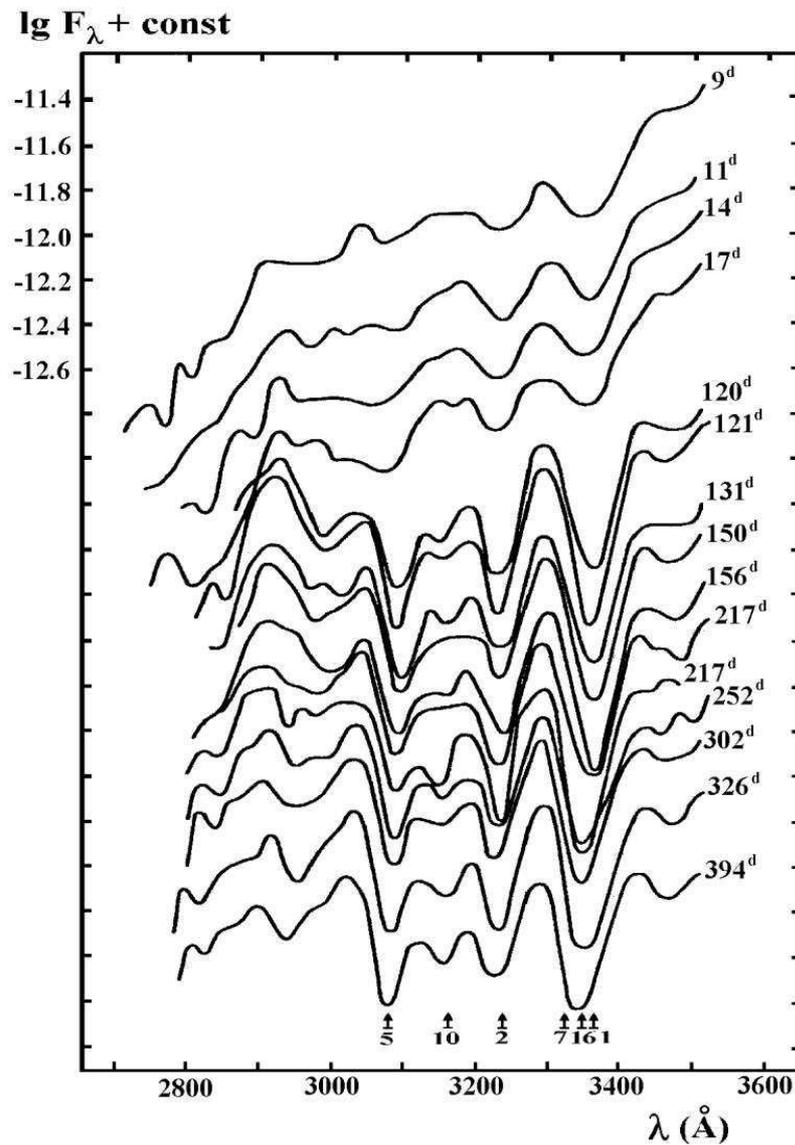


Рис. 6. Кривые блеска EV Lac во время вспышек 24.02.84 и 6.02.86 в трех каналах спектрометра и оптическая кривая блеска в U полосе второй из них

3. Наконец, среди нестационарных звезд, наблюдавшихся с АСТРОНа, особое место занимает Сверхновая 1987а в Большом Магеллановом облаке. Естественно, эти наблюдения не были запланированы, но после открытия Сверхновой выяснилось, что для наведения на нее не подходит ни одна из 15 опорных для космического корабля звезд, и пришлось проводить баллистические расчеты с опорой на Сатурн. К сожалению, между 17 и 120 днями после вспышки, Сверхновая сблизилась с Солнцем, и её наблюдения были не возможны. Как показывает рис. 8, на 120 день после вспышки в ее спектре обнаружили резко усиленные линии нескольких мультиплетов ионизованного титана. Это означает, что первоначальная оболочка сильно расширилась, и мы стали наблюдать внутренние слои, которые в основном состоят из продуктов термоядерного взрыва. Таким образом, АСТРОН дал одно из первых свидетельств появления продуктов взрывного нуклеосинтеза в оболочке SN 1987а на сравнительно ранней стадии ее расширения.

### 3 Диффузные туманности Галактики

Наличие в ультрафиолетовом спектрометре большой входной диафрагмы диаметром более угловой минуты и выходной щели, вырезавшей в спектре около  $30 \text{ \AA}$ , делали его весьма эффективным для изучения непрерывного спектра протяженных объектов – диффузных и планетарных туманностей. Некоторые результаты таких наблюдений представлены на рис. 9. Характерной особенностью спектров является плавное распределение энергии с длиной волны, обусловленное суммированием



**Рис. 7.** Спектры Сверхновой 1987а. Справа около каждой кривой указаны сутки после вспышки, внизу – номера мультиплетов TiII

Бальмеровского рекомбинационного свечения и излучения при двухквантовых переходах. Вторая особенность – глубокая и широкая депрессия в области  $\lambda 2200 \text{ \AA}$  в спектрах туманностей Лагуна и Омега, содержащих много пыли, как и в звездных спектрах на рис. 3с. Высоты отдельных выше расположенных точек в спектрах двух планетарных туманностей соответствуют величинам потоков в эмиссионных линиях.

#### 4 Галактики

В программу наблюдений на АСТРОНе были включены звездные системы - галактики и шаровые скопления. На рис. 2 представлено распределение наблюдавшихся систем на

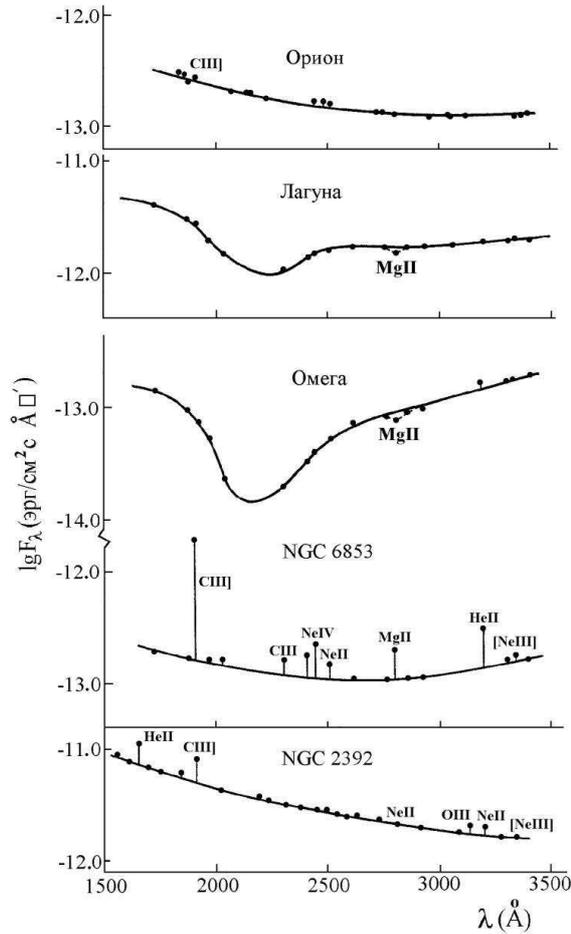


Рис. 8. Спектры трех диффузных и двух планетарных туманностей

диаграмме спектр-величина. С диафрагмой диаметром около минуты дуги исследовалось звездное население нормальных галактик разных морфологических типов – спиральных, эллиптических, иррегулярных, активных галактик с разным уровнем активности – галактик Маркаряна и Сейферта. На рис. 10 показано распределение энергии в ультрафиолете в галактиках разных морфологических типов от эллиптической до спиральных и иррегулярных. Связь между распределением энергии и морфологическим типом галактики хорошо видна на примере пары взаимодействующих галактик на рис. 11, на котором представлены результаты наблюдений спиральной NGC 5194 и эллиптической NGC 5195. В трех активных ядрах галактик - Mrk 573, NGC 598 и NGC 5236 – обнаружена переменность в ультрафиолете, в ядрах двух неправильных галактик – NGC 1569 и NGC 3448 – заподозрена такая переменность.

Для исследования звездного населения галактик была построена двуцветная диаграмма, по осям которой были отложены отношения потоков  $F_{1800\text{Å}}/F_{2500\text{Å}}$  и  $F_{3400\text{Å}}/F_{2500\text{Å}}$  – см. рис. 12. На такую диаграмму были нанесены результаты измерений потоков от центральных областей 20 нормальных галактик разных морфологических типов размером от 0.2 до 20 кпс.

Анализ наблюдаемых линий и континуума позволил заключить, что главный вклад в ближний ультрафиолет центральных областей спиральных Sc и иррегулярных галактик и внегалактических III областей с O-B ассоциациями обусловлен O, B и A звездами главной последовательности. В

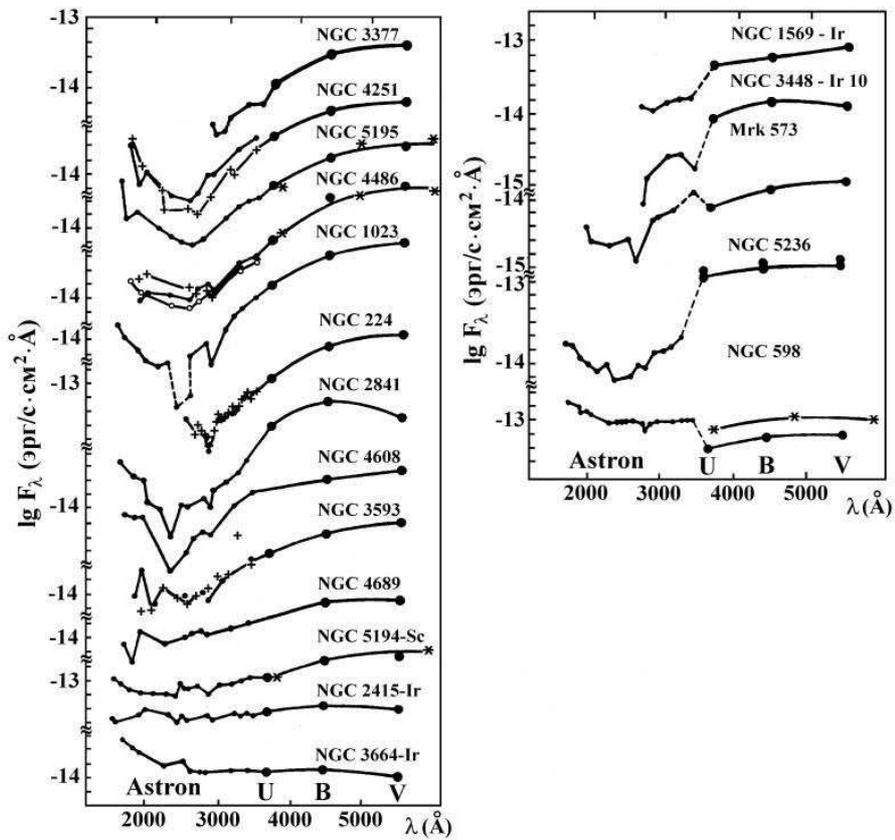


Рис. 9. Распределение энергии в спектрах галактик разных типов

галактиках ранних морфологических типов – эллиптических – основной вклад в ультрафиолет обусловлен звездами горизонтальной и постассимптотической ветвей. Спектры двух галактик Маркаряна и двух внегалактических III областей были интерпретированы как принадлежащие областям современного звездообразования. На рис. 12 приведена двуцветная диаграмма для ультрафиолетового излучения галактик – квадратики, кружки и буквы М в правой верхней части рисунка. Сплошная линия (звездочки) – звезды главной последовательности. Большие заштрихованные кружки – шаровые скопления, кружки с точками – планетарные туманности, волнистые линии – диффузная туманность, Н – III области вместе с О-В ассоциациями. Штриховая линия обозначает локализацию излучения абсолютно черного тела в диапазоне температур от 10000 до 100000 К.

## 5 Комета Галлея

Среди 4 комет, наблюдавшихся с АСТРОНа, наиболее детально была исследована комета Галлея – см. рис. 13. Она наблюдалась в 7 сеансах и ее излучение было зарегистрировано на заметно различающихся гелиоцентрических расстояниях. Наблюдения дали абсолютные потоки в 10 спектральных линиях и полосах и 4 участках непрерывного спектра. Анализ полученных данных позволил оценить суммарную потерю массы в течение одного прохождения кометы вблизи Солнца.

Ряд сеансов был посвящен фоновым измерениям, которые дали представление о суммарном излучении всех небесных объектов в больших участках неба.

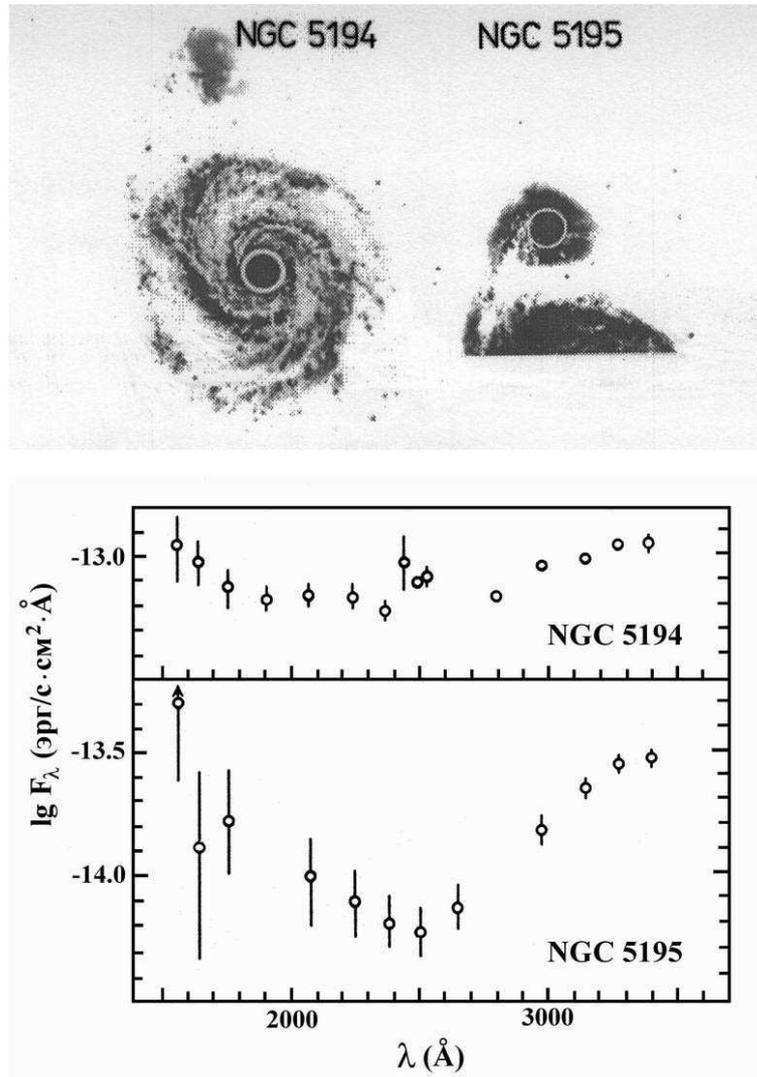


Рис. 10. Распределение энергии в спектрах взаимодействующих галактик

Как всякий крупный космический эксперимент, АСТРОН привлек десятки участников – астрономов, баллистиков, инженеров различных специальностей, изготовителей различных и уникальных узлов и механизмов. Описание конструкции аппарата и все полученные в ходе эксперимента количественные научные данные приведены в коллективной монографии “Астрофизические исследования на космической станции АСТРОН” под ред. А.А. Боярчука (Москва, Наука, 1994), куда вошли как результаты по ультрафиолету, так и по рентгену, полученные на установленных ИКИ РАН на АСТРОНе двух рентгеновских приборах. (Вышеприведенные рисунки 2 – 10 взяты из этой монографии.) Эксперимент АСТРОН был отмечен Государственной премией СССР. Эта первая непилотируемая космическая обсерватория явилась крупным шагом в развитии советской космической науки и технологии и заложила основу для следующего этапа – создания станции СПЕКТР-УФ с телескопом диаметром главного зеркала 170 см. В настоящее время станция СПЕКТР-УФ развивается в рамках международного проекта “Всемирная ультрафиолетовая космическая обсерватория”.

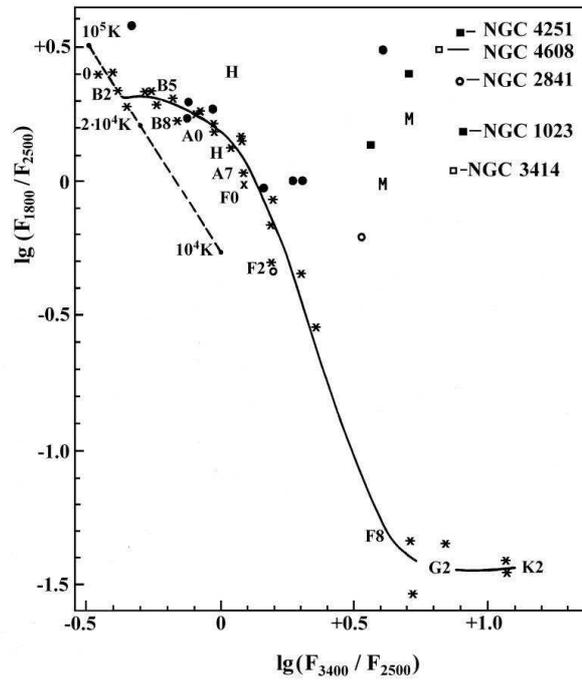


Рис. 11. Двухцветная диаграмма для галактических систем, областей НII и шаровых скоплений

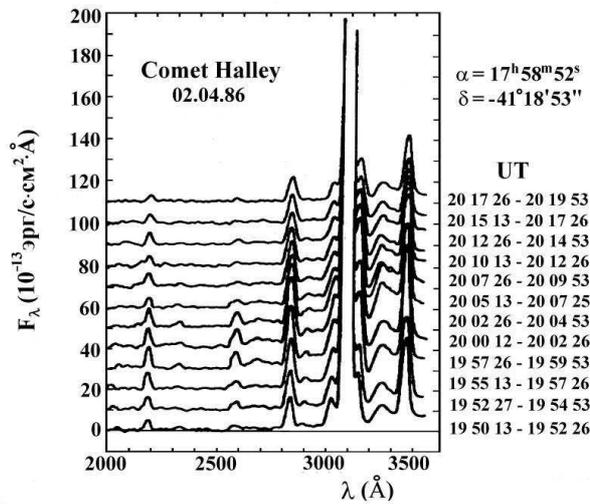


Рис. 12. Спектры кометы Галлея, полученные в сеансе 2.04.86.

Мы благодарны А.В. Теребиж и Л.И. Филатовой за помощь в подготовке доклада к печати.