

## Галактическая астрономия в УФ

Расторгуев А.С.<sup>1,2</sup>, Заболотских М.В.<sup>2</sup>, Сачков М.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия*

<sup>2</sup> *Гос. астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия*

<sup>3</sup> *Институт астрономии РАН, Россия*

**Абстракт** В работе рассматривается ряд перспективных наблюдательных программ для космической ультрафиолетовой обсерватории WSO-UV, имеющих важнейшее значение для современной галактической астрономии. Среди них – поиск кандидатов в двойные цефеиды; поиск и детальное изучение фотометрии и радиального распределения ярких в УФ звезд шаровых звездных скоплений (“голубых бродяг”, голубых звезд горизонтальной ветви и RR-лирид, белых карликов и звезд с УФ-избытками); исследование звездного состава и кинематики молодых рассеянных звездных скоплений и ассоциаций; изучение распределения энергии в спектрах горячих звезд и закона межзвездного поглощения в УФ, оптике и ближнем ИК; уточнение калибровок ультрафиолетовых цветов и эффективных температур. Высокое пространственное разрешение обсерватории делает возможными астрометрические измерения собственных движений на интервале нескольких лет и исследование звездной кинематики.

**Abstract** Rastorguev A.S., Zabolotskikh M.V., Sachkov M.E.  
**Galactic Astronomy in UV**

We propose a number of perspective observational programs for ultraviolet space observatory WSO-UV, which seem to be of great importance to modern galactic astronomy. They include the search for binary Cepheids; the search and detailed photometrical study and the analysis of radial distribution of UV-bright stars in globular clusters; the investigation of stellar content and kinematics of young open clusters and associations; the study of spectral energy distribution in hot stars, including calculation of the extinction curves in UV, optics and NIR; and accurate definition of the relations between UV-colors and the effective temperature. High angular resolution make it possible accurate astrometric measurements of stellar proper motions and their kinematical analysis.

### 1. Введение

Галактическая (“звездная”) астрономия в современную эпоху стала всеволновой астрономической наукой. 30 лет наземных и космических исследований в ультрафиолетовом диапазоне спектра сильно изменили наши взгляды на физические процессы, протекающие в областях

звездообразования в нашей и других галактиках, где важнейшую роль играют горячие звезды; привели к революционным открытиям в изучении населения шаровых и рассеянных звездных скоплений, ранее рассматривавшихся в контексте парадигмы простых звездных населений. Изучение межзвездной экстинкции в газо-пылевой среде является необходимым условием проведения исследований распределения энергии в спектрах звезд и важнейшей основой надежного определения межзвездных расстояний, на чем базируются все работы по изучению строения Галактики. Сравнение законов поглощения в ультрафиолетовой, оптической и ближней инфракрасной областях спектра предоставляет уникальную информацию о строении и химическом составе межзвездных пылинок, их происхождении и процессах обогащения межзвездной среды химическими элементами, что в конечном счете служит физической основой космогонических концепций.

Хорошо известно, что одной из наблюдательных основ галактической астрономии являются астрометрические данные. Многолетний опыт получения прямых изображений крупными космическими телескопами, в первую очередь HST (Hubble Space Telescope), обладающими близким к дифракционному пределу качеством изображения и высокой проникающей способностью, показал, что наряду с исключительно ценными астрофизическими данными, грамотная обработка изображений позволяет извлечь и дополнительную астрометрическую информацию, по позиционной точности во многих случаях сравнимую с космическими специализированными проектами HIPPARCOS и ТУСНО. Удачным примером таких исследований служат уникальные недавние результаты определения высокоточных абсолютных собственных движений Большого и Малого Магеллановых Облаков по наблюдениям с камерой высокого разрешения ACS (Advanced Camera for Surveys) HST с привязкой к квазарам ([1], [2], [3]) и оценка полной массы Галактики. Высокое угловое разрешение и одновременно достаточно широкое поле зрения камер поля WSO-UV, как ожидается, также даст возможность определения собственных движений звезд и звездных скоплений на интервале 3-5 лет с привязкой к изображениям квазаров или далеких галактик. В применении к звездным скоплениям можно ожидать субмиллисекундной точности собственных движений, что почти не уступает ожидаемой точности специализированного астрометрического проекта GAIA. Астрометрические возможности обсерватории WSO-UV открывают новые перспективы изучения кинемати-

ки галактических населений вплоть до больших (десятки кпк) расстояний от Солнца и распределения массы в Галактике. Следует особо отметить важность исследований кинематики и динамики околоядерных областей шаровых звездных скоплений, практически недоступных даже крупнейшим наземным инструментам. Так, камеры WFPC2 и ACS космической обсерватории HST были с успехом использованы для изучения степени анизотропии распределения скоростей в ядерной области шарового скопления NGC 104=47 Тус ([4]).

Привлечение новых массовых наблюдательных данных, фотометрических и спектральных, полученных в ультрафиолетовом диапазоне, способно значительно уточнить современные астрономические шкалы расстояний, задаваемые рассеянными и шаровыми звездными скоплениями, цефеидами плоской и сферической составляющей, RR-лиридами и субкарликами поля, сверхновыми типов Ia и II, в частности, путем разработки более точных методов классификации этих объектов. Упомянутые направления исследований, несомненно, имеют большую важность для современной астрономии.

В предлагаемой работе кратко перечислены некоторые актуальные задачи звездной астрономии, представляющиеся весьма перспективными для составления будущей научной программы обсерватории WSO-UV.

## 2. УФ-диапазон и актуальные задачи звездной астрономии

### 2.1. Изучение двойных цефеид

Классические цефеиды – желтые сверхгиганты, проэволюционировавшие В-звезды главной последовательности – являются представителями одного из основных классов “стандартных свечей”, т.е. объектов с хорошо установленной (в смысле малости случайных ошибок) шкалой расстояний. Их расстояния рассчитываются по многоцветным зависимостям период–светимость, выведенным, например, по цефеидам - членам рассеянных скоплений, реализующим так наз. “короткую” шкалу расстояний [5]. Вопреки ожиданиям, тригонометрические параллаксы цефеид, измеренные в ходе выполнения проекта HIPPARCOS, не закрыли окончательно вопрос о возможных систематических ошибках их шкалы расстояний. Объяснение тому – малое число близких

цефеид с надежно определенными параллаксами. В настоящее время различными группами исследователей фактически используются разные варианты зависимости период–светимость (например, [6] как альтернативный вариант так наз. “длинной” шкалы расстояний).

Одной из возможных причин неточности тригонометрических параллаксов является двойственность заметного числа цефеид. Характерные орбитальные периоды известных спектрально-двойных цефеид составляют сотни и тысячи дней, и типичное угловое смещение их фоточентров на расстоянии порядка сотен парсек может быть оценено в миллисекунды дуги, что сравнимо с точностью тригонометрических параллаксов HIPPARCOS. Эффекты неразрешенной двойственности в процессе обработки результатов HIPPARCOS никак не учитывались. Подтверждением тому является полное отсутствие корреляции между фотометрическими и каталожными тригонометрическими расстояниями известных спектрально-двойных цефеид.

В настоящее время число переменных звезд, классифицированных как классические цефеиды, превышает 2000. Систематический спектральный мониторинг популяции цефеид северного неба, проведенный в 1985-2007 г. с помощью корреляционного спектрометра системы CORAVEL показал, что около 22-25% всех цефеид представляют собой спектрально-двойные системы типа SB1 (с линиями только одного компонента в спектре) (см., например, [7]). Изучая ультрафиолетовые спектры 76 ярких цефеид по данным IUE в области 200-320 nm, Н.Эванс [8] нашла ультрафиолетовые избытки в области 250 nm, обусловленные вкладом горячих В-звезд, у 16 цефеид выборки ( 21%). По ее мнению, более 30% всех цефеид могут иметь спутники. Следует заметить, что вероятность обнаружить двойственность лишь по изменениям лучевых скоростей определяется как ориентацией плоскости орбиты относительно луча зрения, так и скважностью (и продолжительностью) спектральных наблюдений и ошибками измерения лучевых скоростей. Поэтому независимый поиск двойных цефеид с горячими спутниками является весьма многообещающим.

Для этой цели предполагается измерение ультрафиолетовых избытков цефеид на тех фазах пульсации, где вклад горячего компонента проще всего обнаружить – вблизи минимума блеска, когда цефеида вдобавок холоднее. Обнаружение ультрафиолетовых избытков желательно сопровождать низкодисперсными спектральными наблюдениями как с целью сравнения наблюдаемого распределения энергии

с теоретическим, так и с целью поиска спектральных линий горячего компонента и (возможно) определения лучевых скоростей цефеиды и спутника.

Определение вклада горячего спутника в суммарный блеск и цвет цефеиды позволит, во-первых, уточнить ее светимость, а во-вторых, в тех случаях, когда в спектре видны линии обоих компонентов двойной, определить массы цефеиды и спутника. “Очистка” ультрафиолетовых и оптических показателей цвета и блеска от вклада горячего компонента позволит более надежно определять пульсационные радиусы цефеид методом Весселинка-Бааде-Балона, опирающимся на однозначную связь нормальных цветов звезд с эффективной температурой и, в свою очередь, использовать рассчитанные пульсационные радиусы цефеид для независимого уточнения их шкалы расстояний. В-третьих, изучение большой выборки двойных звезд с компонентами большой массы – двойных цефеид – позволит глубже понять специфику процессов звездообразования и формирования первичных двойных. В-четвертых, создание максимально полной выборки двойных цефеид откроет важное направление – изучение влияния двойственности на эволюционные изменения пульсационных периодов цефеид, что может быть использовано в теоретических исследованиях строения и эволюции оболочек этих звезд. Наконец, прецизионное определение изменений координат позволит не только уточнить собственные движения цефеид, но и в ряде случаев – оценить размеры их орбит.

## *2.2. Изучение звездного населения шаровых скоплений*

Целый ряд актуальных задач для исследований в ультрафиолетовой области спектра ставят шаровые звездные скопления.

Всем хорошо известно, что в оптике ярчайшими звездами шаровых скоплений являются красные гиганты. В ультрафиолетовом же диапазоне блеск красных гигантов становится намного слабее блеска горячих звезд, таких как звезды горизонтальной ветви (HB, EHB), включая переменные типа RR Лут, “голубые бродяги” (Blue Straggler Stars или BSS), яркие (молодые) белые карлики, звезды с ультрафиолетовым избытком (UVe), а также слабее звезд асимптотической ветви гигантов (AGB), включая цефеиды сферической составляющей типа W Vir (см. рис. 1).

Наблюдениями с HST доказано, что BSS, UVe и другие перечис-

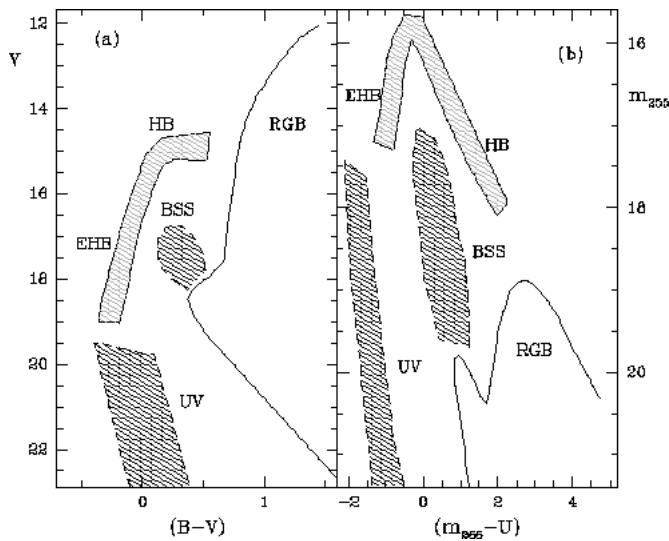


Рис. 1. Схематические диаграммы цвет-величина типичного малометаллического шарового скопления: а) в оптическом диапазоне:  $V - (B - V)$ ; б) в УФ-диапазоне:  $m_{255} - (m_{255} - U)$ . Обозначены: RGB – ветвь красных гигантов, HB – горизонтальная ветвь, EHB – экстремально голубые звезды горизонтальной ветви, BSS – “голубые бродяги”, UV – белые карлики и звезды с УФ-избытком.

ленные типы звезд, являются типичным населением как периферии, так и ядер многих шаровых скоплений. Особый интерес на протяжении последних 55 лет вызывает популяция “голубых бродяг” в шаровых скоплениях. К настоящему времени по разным наблюдениям, включая данные с HST, выявлено более 3000 этих звезд более чем в 60 шаровых скоплениях Галактики ([9]). Практически в каждом скоплении при более или менее детальном исследовании обнаруживаются представители этой популяции, числом от десятков до нескольких сотен. В настоящее время считается общепринятым, что “голубые бродяги” представляют собой результат “омоложения” звезды за счет обмена массой между компонентами в тесной двойной системе. Их массы не превышают  $1.6M_{\odot}$ . Вероятно, большинство двойных звезд в шаровых скоплениях, в том числе и “голубых бродяг”, делятся на две попу-

ляции: первичных двойных и двойных столкновительного происхождения (образовавшихся в результате тесных тройных сближений или приливного диссипативного захвата). “Голубые бродяги” практически во всех скоплениях (за исключением аномального скопления  $\omega$  Cen, кандидата в ультракомпактные галактики) показывают бимодальное распределение по радиусу, с резким падением поверхностной плотности на расстоянии порядка  $7 - 10R_c$  (см., например, рис. 2, взятый из работы [10]). Предполагается, что центральный пик соответствует столкновительным, а периферийный – первичным двойным.

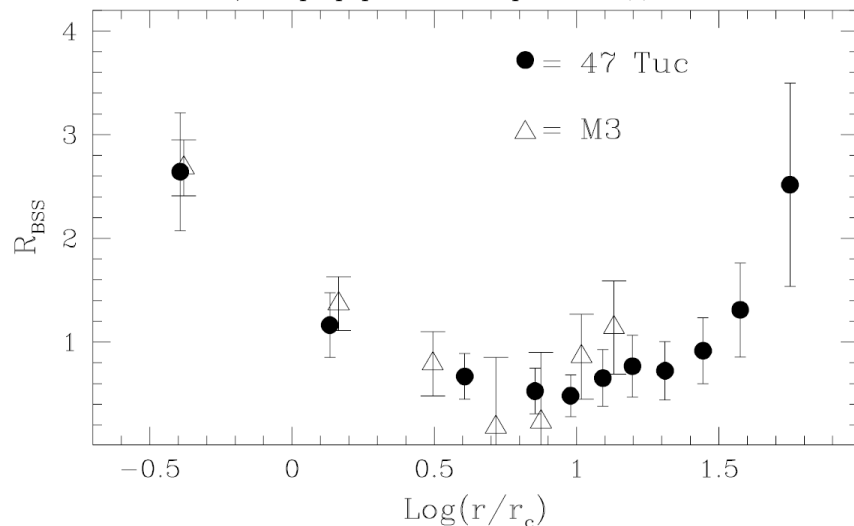


Рис. 2. Радиальное распределение относительной частоты “голубых бродяг” (в единицах поверхностной плотности) в шаровых скоплениях М 3 и 47 Tuc.

Однако до сих пор окончательно не решен вопрос о происхождении “голубых бродяг” и связи свойств их популяции с характеристиками скопления. Для этого в качестве одной из основных задач предлагается создание максимально полной базы данных по “голубым бродягам” в центральных и периферийных областях доступных наблюдений шаровых скоплений Галактики. С ее помощью предполагается детально исследовать особенности радиального распределения этой популяции и выявить связь радиального распределения и

частоты встречаемости BSS с различными характеристиками шаровых скоплений. Как представляется, в совокупности все эти данные способны внести важный вклад в решение вопроса о происхождении и эволюции этой сравнительно короткоживущей популяции. Для ряда близких скоплений желателен спектральный мониторинг “голубых бродяг” с целью определения лучевых скоростей компонентов и оценки их масс. Исчерпывающая база наблюдательных данных для звезд этой популяции может также служить основой для моделирования динамических процессов в шаровых скоплениях, связанных со взаимодействием двойных и одиночных звезд. Не менее интересной задачей кажется фотометрический поиск и изучение популяции “голубых бродяг” в старых рассеянных скоплениях.

Примерно в 25 – 30% шаровых скоплений найдены многочисленные экстремально голубые звезды горизонтальной ветви (ЕНВ), эффективные температуры которых достигают 35000 – 40000K. (Часто это звезды не вполне правильно называют “горячими субкарликами”.) Эти объекты ставят перед исследователями, пожалуй, не меньше проблем, чем “голубые бродяги”. С ними, в частности, ряд исследователей связывает феномен УФ-подъема (UV-upturn) в спектральном интервале 150 – 250 nm в эллиптических галактиках (см, например, [11]).

Хорошо известно, что на стадии горизонтальной ветви шаровых скоплений масса гелиевого ядра звезд почти одинакова ( $\sim 0.5 M_{\odot}$ ), в то время как масса водородной оболочки, в зависимости от сброшенной на стадии гелиевой вспышки массы, меняется от  $0.3 M_{\odot}$  до  $\sim 0.001 M_{\odot}$  [12]. В результате наиболее горячие звезды ЕНВ могут стать белыми карликами, минуя фазу AGB и планетарной туманности [13]. Звезды ЕНВ встречаются и в галактическом поле, причем некоторые авторы считают, что ЕНВ поля и шаровых скоплений имеют различную природу, поскольку среди ЕНВ поля намного больше двойных (до 2/3) по сравнению с ЕНВ шаровых скоплений, доля двойных среди которых не превышает нескольких процентов [14]. Есть подозрение, что доля двойных падает с возрастом рассматриваемой звездной популяции [15]. До сих пор неясно, от каких параметров скопления зависит высокотемпературная граница звезд ЕНВ, хотя отмечалась корреляция как с металличностью, так и с массой (полной светимостью) скопления. Для объяснения последней высказываются идеи о повышенном содержании гелия в звездах ЕНВ в массивных шаровых скоплениях за счет самообогащения межзвездной среды гелием перед эпохой образования



маломассивных звезд [16]. Заслуживают внимания и дальнейшего изучения “провалы” на функции светимости звезд ЕНВ, соответствующие температуре  $19200 \pm 1000\text{K}$  или массе  $M \sim 0.535 \pm 0.005 M_{\odot}$  [17].

Массовое изучение морфологии горизонтальных ветвей шаровых скоплений Галактики, включая фотометрическое и спектральное исследование ярких звезд ЕНВ в УФ-диапазоне, представляется очень перспективным как для уточнения теории эволюции, так и для более глубокого понимания природы и эволюции ярких в УФ населений ШЗС и их сравнения с населением поля и эллиптических галактик.

Глубокое изучение ядер ряда сравнительно близких шаровых скоплений, в первую очередь, 47 Tuc, с помощью космической обсерватории HST выявило еще одну интересную популяцию звезд с ультрафиолетовыми избытками, на диаграмме цвет-величина располагающуюся между белыми карликами и верхней частью главной последовательности [18] (см. также рис. 1). Предположительно эти звезды представляют собой давно ожидаемую популяцию взаимодействующих двойных, что подтверждается оптическим отождествлением части звезд с рентгеновскими источниками, обнаруженными Chandra, и с миллисекундными пульсарами. Дальнейшее исследование этих звезд представляет огромную важность для астрофизики, хотя они и не являются столь яркими, как звезды BSS и ЕНВ. Весьма перспективным кажется поиск слабых (старых) белых карликов и независимая оценка возраста шаровых скоплений по теоретическим трекам охлаждения белых карликов.

### *2.3. Горячие звезды диска, молодые рассеянные скопления и ОВ-ассоциации*

Максимум энерговыделения ярчайших звезд молодых рассеянных скоплений (ОВ-звезд – карликов, гигантов и сверхгигантов) и звездных ассоциаций лежит в УФ-диапазоне. Как правило, у них непосредственно наблюдается сильное истечение вещества (“ветер”, часто клочковатый). Благодаря большой яркости Фотометрическое и спектральное изучение ОВ-звезд нашей Галактики и других галактик местной группы, а также М31, М33 в УФ представляется весьма перспективным для решения целого ряда задач. Так, в настоящее время остро стоит задача уточнения спектрального распределения энергии и температурной шкалы горячих звезд и создания для них калибровок ультрафиолето-

вых и оптических цветов, решение которой невозможно без широкого использования УФ-диапазона [19]. В ряде работ показано, что шкала эффективных температур ОБ-звезд высокой светимости, выводимая из сравнения наблюдаемых УФ-спектров с современными теоретическими расчетами, учитывающими сферичность фотосферы, бланкетирование и отклонение от ЛТР [20], значительно (на  $2 - 8kK$ ) ниже общепринятой [21]. Причиной этого могут быть мощный звездный ветер и эффекты бланкетирования линий [22]. Детальные УФ-спектры и результаты исследования характеристик ветров в эмиссии  $H_\alpha$  могут быть использованы также для создания наиболее точных моделей звездных ветров, уточнения ряда аспектов теории эволюции массивных звезд и классификации горячих звезд по светимостям (отделения звезд ГП от гигантов и сверхгигантов). Не исключено, что последнее приведет к значительному уточнению их шкалы расстояний. Спектроскопия открывает уникальную возможность прямого изучения процессов взаимодействия горячих звезд с межзвездной средой и влияния массивных звезд и их ветров на звездообразование.

Помимо прочего, высокодисперсная спектроскопия ОБ-звезд является наблюдательной основой определения их скорости вращения. По современным данным, проективная скорость,  $(V_{rot} \cdot \sin i)$  достигает 450 км/с для звезд ГП и гигантов и 100 км/с для сверхгигантов [23]. Заслуживает внимания природа диффузного УФ-излучения, наблюдаемого в других спиральных галактиках. Есть данные, что большая часть УФ-эмиссии вблизи 220  $nm$  связана со вкладом В-звезд поля, а не молодых скоплений [24], что косвенно свидетельствует о быстром распаде рассеянных скоплений.

Трудно переоценить роль ультрафиолетовых фотометрических и спектральных наблюдений молодых звездных скоплений и ОБ-ассоциаций. Именно УФ-диапазон лучше всего пригоден для изучения строения звездных комплексов как основных ячеек в областях звездообразования, а также формы спирального узора в других галактиках. В нашей Галактике молодые скопления, как правило, скрыты за толстым слоем пыли, особенно сильно поглощающей именно коротковолновое излучение. Уточнение температурной шкалы и распределения энергии в спектрах ОБ-звезд требует пересмотра шкалы болометрических поправок и, как следствие, возрастов и расстояний молодых рассеянных скоплений и ассоциаций. Совместное использование данных УФ, оптики и ближнего ИК и астрометрических данных для детального

изучения населения молодых рассеянных скоплений позволит значительно уточнить их возрасты и расстояния, а также наложить ограничения на начальный спектр масс звезд, что является важнейшей проблемой в теории звездообразования. Большую роль в изучении популяции молодых скоплений должны сыграть астрометрические данные, а именно – высокоточные собственные движения, полученные на интервале порядка 3-5 лет, позволяющие отделить члены скопления от звезд поля, уточнить кривую вращения молодых подсистем и определить кинематические параметры популяции рассеянных скоплений на основе однородного наблюдательного материала.

Особенный интерес представляет изучение кинематики ОВ-ассоциаций. В отличие от гравитационно-связанных рассеянных звездных скоплений, звездные ассоциации, будучи гравитационно несвязанными группировками молодых звезд, характеризуются заметной дисперсией пространственных скоростей ( $\sim 5$  км/с). Для кинематических исследований пригодны собственные движения, рассчитанные по разности координат с точностью выше  $0.1$  *mas*/год, и лучевые скорости, определенные по высокодисперсным спектрам с необходимой точностью не хуже  $0.5$  км/с. Можно полагать, что такие точности вполне достижимы при систематических наблюдениях немногих близких ОВ-ассоциаций на WSO-UV (области в Орионе, Лебеде, Стрельце). Определенные из наблюдений кинематические характеристики ассоциаций несут важнейшую информацию о массах родительских молекулярных облаков, эффективности звездообразования, особенностях процессов фрагментации, взаимодействии горячих звезд с межзвездной средой и динамике областей звездообразования.

#### 2.4. Изучение горячего и молекулярного газа

УФ-диапазон открывает богатые возможности исследования химического состава, распределения и кинематики межзвездной среды в нашей Галактике и других близких галактиках. В ультрафиолетовом диапазоне наблюдаются спектральные линии молекул CO, молекулы HD и молекулярного водорода  $H_2$  (совершенно не видимого в оптике), а также ряда возбужденных атомов, среди которых особенный интерес представляет ион кислорода  $O\ VI$  ([25], [26], [27]). Молекулярные линии хорошо видны в спектрах горячих белых карликов и ОВ-звезд, “просвечивающих” межзвездную среду на луче зрения. До-

плеровское смещение линий несет информацию о кинематике газа, а эквивалентные ширины – о физических условиях в межзвездной среде (температуре и лучевой плотности).

Исключительно важную космологическую роль играют измерения первичного отношения числа атомов дейтерия к водороду,  $(D/H)_{prim}$ , являющегося характеристикой первичного нуклеосинтеза во Вселенной, на первых 100 – 1000 секундах ее эволюции [28]. Согласно современным внеатмосферным УФ-наблюдениям в диапазоне 90Ц120 nm, отношение  $D/H$  показывает значительные вариации, свидетельствующие о большой роли звездообразования и перемешивания межзвездной среды, а также разрушении первичного дейтерия термоядерными реакциями [29]. С космологической точки зрения, наиболее перспективными могли бы стать определения отношения  $D/H$  в малометаллической среде, слабо затронутой звездообразованием и перемешиванием вещества ([30]), т.е. на высоких галактических широтах, хотя это и представляется сложной наблюдательной задачей.

Спектральные наблюдения в УФ и оптике обнаружили не только крупномасштабные структуры в локальной МЗС, но и множество сравнительно небольших “теплых” облаков в пределах 15 пк от Солнца и позволили уточнить строение Местного газового объема. Как было показано, столкновениями облаков можно объяснить волокнистую структуру некоторых близких молекулярных облаков [31].

Наблюдениями с FUSE (Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer) в интервале длин волн около 103 – 104 nm обнаружены сильные линии поглощения ионом  $O\ IV$  не только в диске Галактики, но на высоких галактических широтах, где скорости газа имеют порядок  $\pm 100$  км/с, температура  $T \sim 3 \cdot 10^5$  K, а лучевая плотность –  $10^{14} - 10^{15}$  см $^{-2}$  [27]. В направлениях на 100 галактик с активными ядрами и квазаров по линиям  $O\ IV$  были также обнаружены высокоскоростные облака (со скоростями, достигающими  $|V_r| \sim 400$  км/с относительно LSR, и лучевой плотностью порядка  $10^{13} - 10^{14}$  см $^{-2}$ ) [32]; они ассоциируются с МЗС в Галактике и Местной группе. Наличие большого количества горячего газа на расстояниях порядка 200-300 кпк накладывает ограничение на возможные сценарии образования Местной Группы и открывает новые горизонты для изучения вклада барионной материи в полную тяготеющую массу.

Спектральные УФ-наблюдения в направлении на горячие звезды БМО обнаружили, помимо горячего газа, значительное количество мо-

лекулярного водорода, сконцентрированного в высокоскоростные облака с лучевой плотностью порядка  $\sim 7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; доля молекулярного водорода в них составляет примерно  $\lg f(H_2) \sim -5.4 \div -3.3$  [33]. Исследование физических процессов и происхождения высокоскоростных молекулярных облаков также представляет собой одну из интереснейших задач современной космогонии галактик.

### 2.5. Поглощение света в УФ, оптическом и ближнем ИК диапазонах

Межзвездное поглощение света так или иначе влияет на фотометрические и спектральные наблюдения практически всех объектов в ультрафиолетовой, оптической и ближней инфракрасной областях спектра. Поэтому детальное исследование межзвездной экстинкции является одной из важнейших задач современной астрофизики [34]. Для оценки поглощения света чаще всего используются так называемые “средние” кривые поглощения (зависимости монохроматического поглощения от длины волны), усредненные по наблюдениям звезд в разных направлениях диска Галактики. Так, разными исследователями обычно приводятся таблицы отношения избытков цвета  $E(\lambda - V)/E(B - V)$ , где  $\lambda$  – эффективная длина волны для текущего фильтра широкополосной фотометрической системы, задаваемой в оптике и ближнем ИК-диапазоне ([35], [36]). На их основе легко вычисляются значения  $R_V = A_V/E(B - V)$ , и через избытки цвета – величины поглощения в разных фильтрах. Та же идеология лежит в основе двумерных карт поглощения (см., например, ([37], [38])).

Однако, хорошо известно, что законы поглощения в разных направлениях в Галактике часто сильно различаются (в качестве иллюстрации различий см. рис. 3, взятый из работ [39], [40]). Показано, что значения отношения полного поглощения к избытку цвета при этом меняются в больших пределах  $R_V \sim 2.4 - 3.6$  [40] и, следовательно, использование средних значений может привести к значительным и непредсказуемым ошибкам в значениях определяемых астрофизических параметров объектов (эффективных температур звезд, расстояний и светимостей, возрастов звездных скоплений). Совершенно ясно, что детальное изучение межзвездной экстинкции остается одной из важнейших задач звездной астрономии и астрофизики. Для определения закона поглощения наряду с классическим методом звездных пар

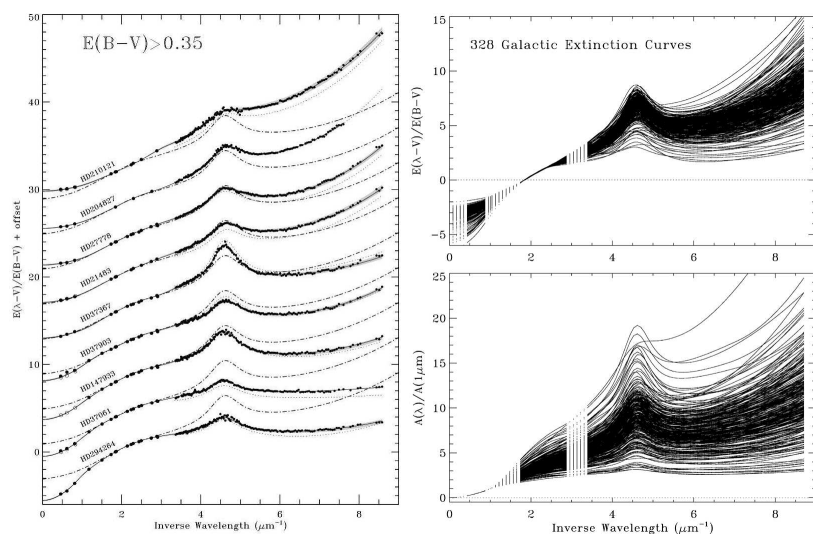


Рис. 3. Слева: законы экстинкции  $E(\lambda - V)/E(B - V)$ , выведенные по отдельным звездам (смещены по вертикали). Справа: результаты измерения экстинкции по 328 звездам. Вверху:  $E(\lambda - V)/E(B - V)$ . Внизу:  $A(\lambda)/A(1\mu\text{m})$ . По горизонтали отложена обратная длина волны.

может эффективно применяться метод Extinction-without-standard (не опирающийся на звезды-стандарты), разрабатываемый Фитцпатриком и Массе ([39], [40]). Его суть состоит в сравнении модельного распределения энергии с наблюдаемым в УФ, оптике и ближнем ИК, а также использовании данных многоцветной средне- и широкополосной фотометрии, в том числе инфракрасной. Данный метод протестирован на данных IUE (International Ultraviolet Explorer), причем использована библиотека моделей атмосфер ATLAS9 [41]. Совместно с законом экстинкции, задаваемым в параметризованном виде, определяются и основные параметры атмосфер –  $lg T_{eff}$ ,  $lg g$ ,  $[m/H]$ . Исследования показали, что наиболее надежно ход кривой экстинкции определяется по звездам рассеянных скоплений малого и умеренного возраста; применение этого метода на обсерватории WSO-UV позволит, помимо прочего, провести глубокое исследование рассеянных скоплений.

### 3. Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 08-02-00738 и гранта Президента поддержки ведущих научных школ РФ НШ-433.2008.2.

### Список литературы

1. Kallivayalil N., van der Marel R.P., Alcock C. et al. 2006, *ApJ*, 638, 772
2. Kallivayalil N., van der Marel R.P., Alcock C. et al. 2006, *ApJ*, 652, 1213
3. Besla G., Kallivayalil, N., Hernquist L. et al. 2007, *ApJ*, 668, 949
4. McLaughlin D.E., Anderson J., Meylan G. et al. 2006, *ApJS*, 166, 249
5. Бердников Л.Н., Возякова О.В., Дамбис А.К. 1996, *Письма в астрон. журн.*, 22, 936
6. Feast M., Pont F., Whitelock P. 1998, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 298, L43
7. Горыня Н.А., Расторгуев А.С., Самусь Н.Н. 1996, *Письма в астрон. журн.*, 22, 33
8. Evans N.R. 1992, *ApJ*, 384, 220
9. Piotto G., De Angeli F., King I. et al. 2004, *AJ*, 604, L109
10. Ferraro F.R., Beccari G., Rood R.T. et al. 2004, *ApJ*, 603, 127
11. Deharveng J.-M., Boselli A., Donas J. 2002, *AsAp*, 393, 843
12. Greggio L., Renzini A. 1990, *ApJ*, 364, 35
13. Moehler S. 2002, *astro-ph/0209.293v1*
14. Maxted P.F.L., Heber U., Marsh T.R., and North R.C. 2001, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 326,
15. Han Z. 2008, *astro-ph/0804.4535v2*

16. D'Antona F., Caloi V., Montablan J. et al. 2002, *AsAp*, 395, 69
17. Piotto G., Zoccali M., King I.R. et al. 1999, *AJ*, 118, 1727
18. Ferraro F.M., D'Amico M., Possenti A. et al. 2001, *ApJ*, 651, 337
19. Crowther P.A. 2006, *ASP Conference Series*, 348, 107
20. Hillier D.J., Miller D.L. 1998, *ApJ*, 496, 407
21. Bianchi L., Garcia M. 2002, *ApJ*, 581, 610
22. Evans C.J., Crowther P.A., Fullerton A.W. and Hillier D.J. 2004, *ApJ*, 610, 1021
23. Simon-Diaz S., Herrero A. 2007, *astro-ph/0703.216v1*
24. Pellerin A., Meyer M., Harris J. and Calzetti D. 2007, *ApJ*, 685, L87
25. Bluhm H., de Boer K.S. 2001, *AsAp*, 379, 82
26. Bluhm H., de Boer K.S., Marggraf O. et al. 2003, *AsAp*, 398, 983
27. Savage B.D., Sembach K.R., Wakker B.P. et al. 2003, *ApJS*, 146, 125
28. Burles S., Nollett K.M., Turner M.S. 2001, *ApJ*, 552, L1
29. Linsky J.L., Draine B.T., Moos H.W. et al. 2006, *ApJ*, 647, 1106
30. Linsky J.L. 2007, *Space Science Reviews*, 130, 367
31. Redfield S., Linsky J.L. 2008, *ApJ*, 673, 283
32. Sembach K.R., Wakker B.P., Savage B.D. et al. 2003, *ApJS*, 146, 165
33. Bluhm H., de Boer K.S., Marggraf O. and Richter P. 2001, *AsAp*, 367, 299
34. Whittet D.C.B. 2003, "Dust in the Galactic Environment", IOP Publishing Ltd
35. Cardelli J.A., Clayton J.C., Mathis J.S. 1989, *ApJ*, 345, 245
36. He L., Whittet D.C.B., Kilkenny D. and Spencer Jones J.H. 1995, *ApJS*, 101, 335



37. Burstein D., Heiles C. 1982, AJ, 87, 1165
38. Schlegel D.J., Finkbeiner D.P., Davis M. 1998, ApJ, 500, 525
39. Fitzpatrick E.L., Massa D. 2005, AJ, 130, 1127
40. Fitzpatrick E.L., Massa D. 2007, ApJ, 663, 320
41. Kurucz R.L. 1979, ApJS, 40, 1