

## Проект VST: небольшой телескоп для больших задач

М.В. САЖИН,  
доктор физико-математических наук

О.С. САЖИНА,  
доктор физико-математических наук  
ГАИШ МГУ

---

Статья посвящена важному классу астрономических инструментов – современным оптическим телескопам: большим и малым, уже функционирующим и готовящимся к работе. Рассматриваются цели и задачи в их использовании, а также место среди других инструментов, с помощью которых исследуется космос. Подробно рассказывается о телескопе VST (VLT Survey Telescope – обзорный



телескоп) Европейской Южной Обсерватории (ESO), о непростой истории его



создания и о его разработчике – итальянском астрономе Массимо Капаччиоли.

### ТОРЖЕСТВО ГИГАНТСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

Современная астрономия стала всеволновой. С помощью наземных и космических телескопов ведут наблюдения в широчайшем диапазоне электромагнитного спектра: от низкочастотных радиоволн до

жесткого гамма-излучения. Сравнительно недавно родилась нейтринная астрономия, а в прошлом году – гравитационно-волновая. Осваиваются недоступные ранее инструментальные средства, что делает возможным наблюдения, о которых наши предшественники

не могли и мечтать. Так, например, нейтринные телескопы дают возможность наблюдать процессы в центре Солнца, а гравитационно-волновая астрономия позволяет изучать слияние двух черных дыр и “видеть” происходящие на их горизонтах события.

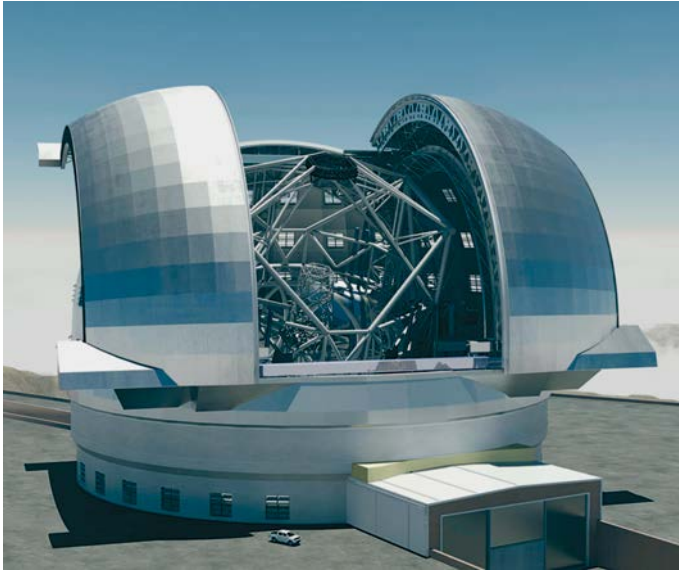
Тем не менее основным источником астрономической информации до сих пор являются оптические телескопы, они становятся все больших размеров и снабжаются все более чувствительными приемниками излучения (Земля и Вселенная, 2004, № 2). Так, уже функционируют четыре гигантских телескопа VLT (Very Large Telescope) в Европейской Южной Обсерватории, установленные на горе Серро Паранал высотой 2640 м в Чили. Система представляет собой четыре отдельных телескопа (Анту, Куйн, Мелипал

и Йепун – названные так в честь индейских богов), с главными зеркалами диаметром 8,2 м; и четыре вспомогательных телескопа с подвижными зеркалами диаметром 1,8 м. Световые пучки сводятся в единый фокус, и VLT работает как один гигантский “интерферометр” диаметром 16 м, что позволяет различать детали в 25 раз более мелкие, чем с его отдельных телескопов. Вклад VLT в современную наблюдательную астрономию огромен. Перечислим несколько важнейших открытий: первое полученное

изображение экзопланеты около коричневого карлика 2MASSWJ1207334-393254 массой  $25 M_{\text{Ю}}$  в созвездии Гидра в 230 св. лет от нас (2004), построенные траектории отдельных звезд, движущихся вокруг сверхмассивной черной дыры в центре Млечного Пути; наблюдения послесвечения самого далекого из всех известных гамма-всплесков; и, наконец, исследование кривых вращения далеких галактик (красное смещение  $z = 0,8-2,4$ ), в которых, вопреки ожиданиям, практически отсутствует темная материя.



Четыре 8,2-м телескопа VLT Европейской Южной Обсерватории на горе Серро Паранал в Чили. Фото ESO.



*Проект гигантского 39,3-м телескопа ELT, Европейская Южная Обсерватория. Рисунок ESO.*

В наземной астрономии использование сверхбольших телескопов особенно важно, они позволяют проводить детальные исследования далеких объектов: планет звездных систем, первых объектов ранней Вселенной, сверхмассивных черных дыр, а также изучать распределение темной материи и темной энергии.

В 2005 г. под эгидой ESO была предложена революционная концепция использования “самого большого глаза в небо” – гигантского телескопа ELT (Extra Large Telescope) с зеркалом диаметром 39,3 м, состоящим из 798 шестиугольных сегментов диаметром 1,4 м каждый и собирающей площадью в 978 м<sup>2</sup>. Программа ELT утверждена в 2012 г., “зеленый свет” для строительства телескопа дан

в конце 2014 г. “Первый свет” запланирован на 2024 г. Астрономы надеются провести исследования галактик с большим красным смещением, изучить эпоху образования звезд, экзопланет и протопланетных систем. Строительство ELT началось в 2017 г. неподалеку от обсерватории ESO Паранал, на горе Армасонес в Чили.

#### О МАЛЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПАХ ЗАМОЛВИТЕ СЛОВО

На первый взгляд, время небольших телескопов уходит безвозвратно, однако это не так. Дело в том, что большие и сверхбольшие телескопы строятся для решения вполне определенных задач, они не могут охватить весь спектр современных проблем

астрономии. Важнейшая из последних – проведение больших обзоров неба. Это – основная задача астрономии в течение нескольких столетий и останется такой еще очень долго.

Почему она так важна? Дело в том, что площадь небесного свода составляет 40 тыс. квадратных градусов, охвачено наблюдениями (более или менее подробно) только несколько тысяч. Становится очевидной задача исследования новых участков неба в надежде обнаружить неизвестные объекты и явления. Так, за последние десятилетия были открыты квазары, пульсары (нейтронные звезды) и источники рентгеновского излучения, что бесспорно доказывает актуальность продолжения работ над астрономическими обзорами. Астрономические обзоры и находятся в ведении малых оптических телескопов.

#### ТЕЛЕСКОП МАССИМО КАПАЧЧИОЛИ

Об одном инструменте, созданном для астрономических обзоров, мы хотим рассказать – это новый телескоп VST, предназначенный для

*Купол здания телескопа VST в Европейской Южной Обсерватории, Чили. Фото ESO.*

---

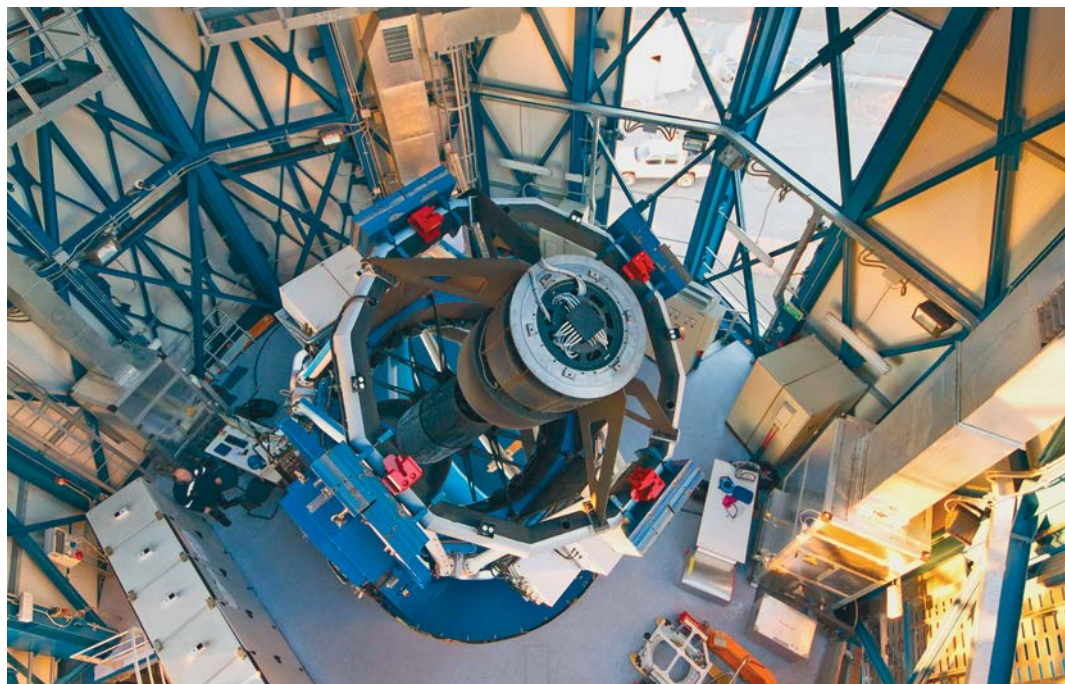
вспомогательных обзоров большого телескопа VLT, установленный в чилийских Андах. VST построен в тесной кооперации между ESO и Национальным институтом астрофизики Италии (INAF). Спроектировали и изготовили этот инструмент в Италии. Башню VST установили на горе Паранал, неподалеку от четверки телескопов VLT.

Несколько слов о разработчике проекта VST, одном из самых выдающихся итальянских астрономов нашего времени – Массимо Капаччиоли. Ученик знаменитого исследователя галактик Жерара Анри де Вокулёра (Франция–США), Массимо начал научную карьеру как обычный преподаватель астрономии в университете Падуи (Италия). Правда, нельзя не отметить, что он преподавал на той самой кафедре, где профессором был Галилео Галилей. Работа с Ж. де Вокулёром сформировала основные научные интересы М. Капаччиоли: изучение динамики и эволюции звездных систем, исследования в области наблюдательной космологии. К наиболее значимым результатам



этого блестящего ученого следует отнести определение свойств галактик и их эволюцию, а также оценку масштабов космических расстояний и измерение обилия темной материи. В 1991–2001 гг. М. Капаччиоли занимал пост президента Итальянского астрономического общества и три года (с 2000 по 2002 г.) был генеральным президентом Национального общества наук, литературы и искусств в Неаполе (Южно-итальянская академия наук). За большой вклад в развитие астрономии он был удо-

стоен множества наград, включая звание Командора республики (за научные заслуги) и почетного профессора МГУ им. М.В. Ломоносова (2010). М. Капаччиоли работал в региональных, национальных и международных органах – таких как Национальный исследовательский комитет (CNR), Итальянский центр аэрокосмических исследований (CIRA) и Совет директоров Национального института астрофизики. М. Капаччиоли воспитал не один десяток учеников в Италии и в других



странах, многие из них занимают в настоящее время лидирующие позиции в мировой астрономии. В течение многих лет, в 1993–2005 гг., он занимал пост директора Астрономической обсерватории Каподимонте в Неаполе, именно в те времена началось активное взаимодействие обсерватории с ESO, что привело к возникновению проекта VST.

#### УСТРОЙСТВО ТЕЛЕСКОПА VST

VST – это последний крупный инструмент из установленных в обсерватории Паранал ESO и самый большой телескоп класса обзорных, диаметром 2,6 м. Он оснащен огромной

268-мегапиксельной камерой OmegaCAM (преемницей успешной ПЗС-камеры WFI, камеры глубокого обзора), в настоящее время установленной на 2,2-м телескопе MPG (Max Planck Gesellschaft) в ESO на плато Ла Силья (Чили; работает с 1984 г.); телескоп принадлежит Институту астрономии им. Макса Планка (Германия), но находится в долгосрочной аренде у обсерватории. На телескопе установлены широкоугольная камера, детектор гамма- и ближнего инфракрасного послесвечения гамма-вспышек GROND и спектрограф FEROS.

Телескоп-рефлектор VST системы Ричи–Кретьяна (как и VLT) охватывает

*2,6-м телескоп VST. Фото Дж. Ломбарди, ESO.*

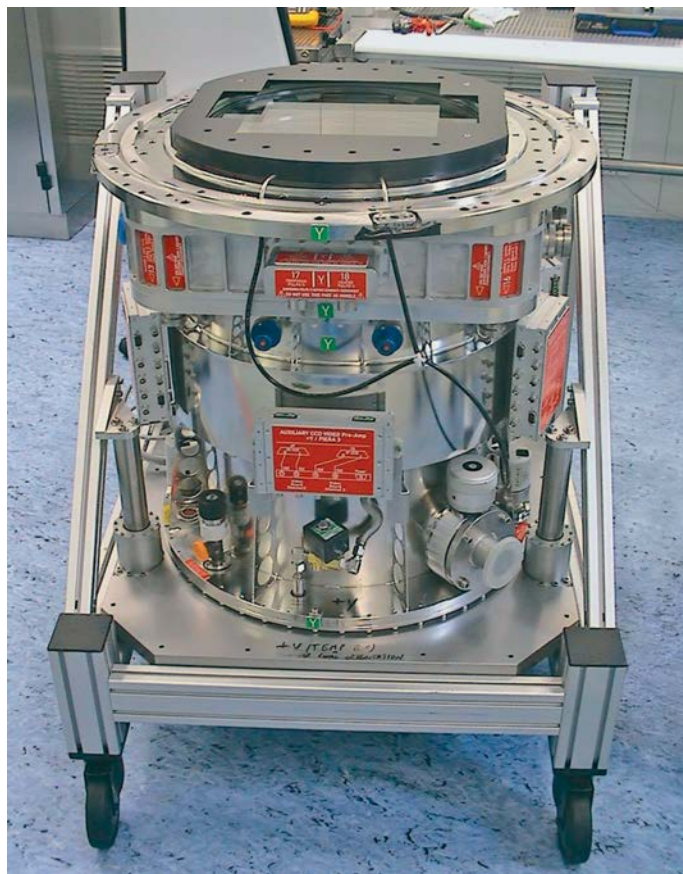
широкий диапазон волн – от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного (0,3–1,0 мкм); в то время, как крупные телескопы (такие, как VLT) могут изучать только небольшую часть неба (в зависимости от используемого инструмента). VST предназначен для быстрого и глубокого фотографирования больших площадей неба –  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Соединенный с VLT телескоп VST представляет собой идеальный инструмент для астрономических обзоров: используя широкое поле обзора, с его помощью можно обнаружить

и предварительно дать описание источников излучения, которые в дальнейшем можно детально изучать уже на телескопе VLT.

Телескоп VST имеет два зеркала модифицированной системы Ричи-Кретьена: главное (M1) диаметром 2,61 м и вторичное (M2) диаметром 0,938 м; фокусное расстояние – почти 14,5 м. Главное зеркало имеет активную систему оптики из 108 малых электродвигателей, они осуществляют точную корректировку его формы для того, чтобы получить четкое изображение небесного объекта.

Телескоп оборудован единственным инструментом – ПЗС-камерой OmegaCAM объемом  $16000 \times 16000$  пикселей, установленной в фокусе Кассегрена; она состоит из 32 отдельных ПЗС-матриц в виде мозаики. Ее общее поле зрения ( $1^\circ \times 1^\circ$ ; это вдвое больше полной Луны) включает 256 млн пикселей (для сравнения: ПЗС-камера обзоров ACS Космического телескопа Хаббла содержит только 16 млн пикселей; камера OmegaCAM может создавать изображения в 16 раз больше!).



Ее разработчик – Джаккомо Беккари (ESO, Гархинг, Германия) утверждает, что сочетание OmegaCAM и 2,6-м телескопа делает VST лучшим инструментом обсерватории Паранал. ПЗС-камера была изготовлена международным консорциумом, куда входили Астрономический институт Каптейна (Нидерланды), Университет Мюнхена (Германия), итальянские астрономические обсерватории Падуи (Италия) и ESO. На OmegaCAM установлены 12 различных широкополосных фильтров,

что позволяет “охватывать” большие участки неба (содержащие десятки тысяч звезд и галактик), которые можно наблюдать в широких диапазонах длин волн: от 350 нм (в ультрафиолетовом) до 1000 нм (в инфракрасном).

ПЗС-камера OmegaCAM также имеет два узкополосных фильтра, “принимающих” излучение в области линии излучения  $H_\alpha$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ). (Напомним, что  $H_\alpha$  – это красная спектральная линия, которая возникает в атоме водорода – самого распространенного



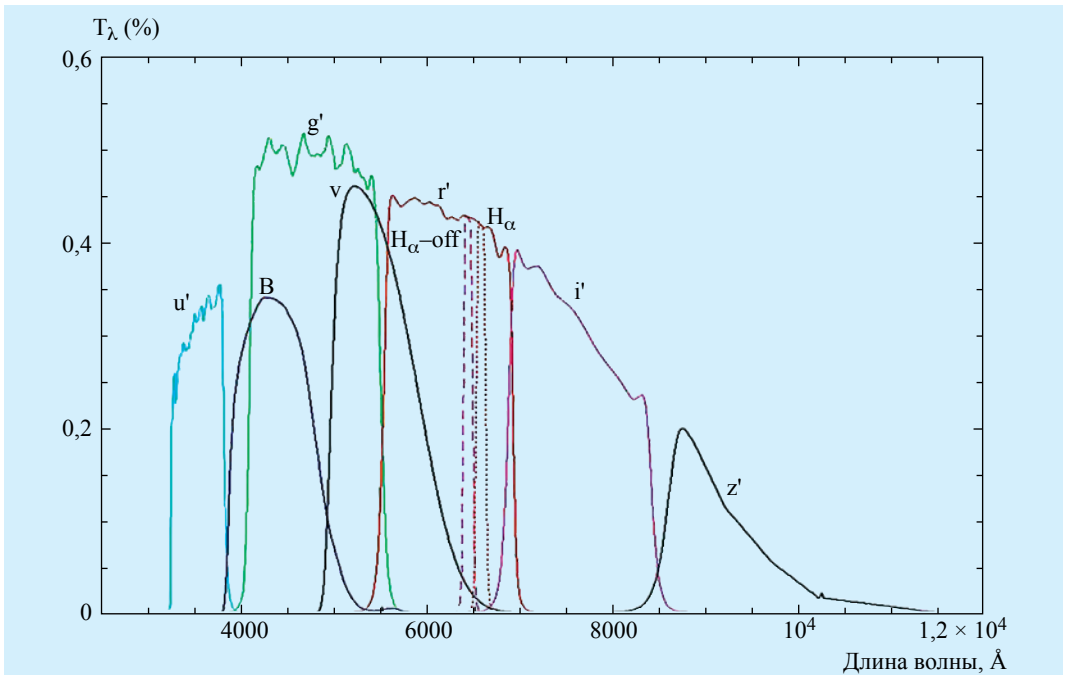
Поле зрения телескопа VST ESO размером в квадратный градус вмещает в себя четыре диска Луны (для сравнения они помещены в его поле зрения).

аккрецирует вещество; в результате формируются околозвездные протопланетные диски) или изучать протекающие процессы в гигантских молекулярных облаках,

Полосы пропускания 12 оптических фильтров диапазоном 3500–10000 Å; установлены на ПЗС-камере OmegaCAM, формируют фотометрические характеристики телескопа VST. Два узкополосных фильтра показаны пунктирной линией. По горизонтальной оси – длина волны, в ангстремах.

элемента во Вселенной; она имеет важное значение для определения движения газа в звездах, туманностях и в меж-

звездных облаках.) Такой фильтр позволяет OmegaCAM эффективно изучать эволюцию молодых звезд (на которые



*Главное 2,6-м зеркало телескопа VST в цехе Лыткаринского завода оптического стекла. Крайний слева – главный инженер-оптик завода М.А. Абдулкадыров.*

где образуются новые звезды и планеты.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗЕРКАЛА:  
ЧЕРЕЗ ТЕРНИИ К ЗВЕЗДАМ

С самого начала проект VST преследовали трудности. Денег, выделенных на его осуществление, не хватало для создания современного автоматизированного телескопа и необходимой инфраструктуры. М. Капаччиоли принял рискованное решение – сначала построить сам телескоп, а формировать инфраструктуру и выполнять сопутствующие работы уже потом, изыскивая деньги в процессе строительства. Профессор М. Капаччиоли рискнул и выиграл! Он создал прекрасный телескоп, который выделяется даже на фоне других высокотехнологичных инструментов ESO, внесших большой вклад в современную астрономию.

Прежде чем VST был успешно установлен на плато Паранал (Чили), произошло много несчастных событий: даже заявка на изготовление зеркала для телескопа была принята не сразу – почти все европейские заводы были



загружены другими заказами и сделать в срок зеркало не брался никто. Профессор М. Капаччиоли принял еще одно смелое решение – заказать зеркало в России, обратившись на Лыткаринский завод оптического стекла (Московская область). Здесь зеркало было изготовлено быстро и качественно, оно соответствовало всем техническим нормам, которые предъявлял руководитель проекта. Общая оценка – “прекрасно”! Однако череда проблем еще не закончилась: зеркало упаковали, погрузили в контейнер в Гамбурге и повезли через Атлантический океан в Чили; в июне 2002 г. при разгрузке в порту Южной Америки случилась катастрофа... оборвался один из канатов и контейнер рухнул на землю – погиб

портовый рабочий, а зеркало разбилось.

Наука, как и любая другая сфера человеческой деятельности, к сожалению, не обходится без собственных драм – просто по большей части они рождаются и находят свое разрешение только в среде ученых. Зеркало для VST было необходимо, и профессору М. Капаччиоли не оставалось ничего другого, как снова обратиться на Лыткаринский завод оптического стекла.

Один из авторов этой статьи (М.В. Сажин) в то время как раз находился в Обсерватории Каподимонте. Массимо позвал меня и показал фотографию разбитого зеркала – его голоса, выражения лица в те минуты я никогда не забуду. Он попросил меня позвонить на завод и быть переводчиком в разговоре с главным инженером-оптиком





завода М.А. Абдулкадыровым. Думаю, читатель может себе представить, насколько тяжело было встречено известие о произошедшей катастрофе сотрудниками Лыткаринского завода. Но они приняли во второй раз заказ на изготовление точно такого же зеркала, не подняв стоимости работ, хотя были единственными возможными исполнителями. Безупречно и в кратчайшие сроки изготовленное зеркало снова было доставлено в Южную Америку, на плато Паранал, и успешно помещено в оправу. Долгожданный телескоп был

собран и “принял первый свет” 8 июня 2011 г.! Уже первые полученные изображения астрономических объектов обладали высоким качеством.

Сейчас с помощью телескопа VST получено множество изображений, в их числе – шаровое скопление  $\omega$  Центавра и галактика в Треугольнике. Скопление  $\omega$  Центавра – крупнейшее в нашей Галактике, находится в 18300 св. годах от нас; оно содержит несколько миллионов звезд, ее центр плотно заселен и там может находиться черная дыра средней массы. Спиральная галактика в Треугольнике

*Разбитое первое зеркало диаметром 2,6 м телескопа VST ESO, изготовленное на Лыткаринском заводе оптического стекла. Фото из архива М. Капаччиоли.*

(M33, NGC 598), диаметром около 50 св. лет, удалена от нас на 2,77–3,07 млн св. лет. В одном из ее рукавов находится эмиссионная туманность NGC 604 поперечником 1300 св. лет – огромная обособленная область звездообразования, где сосредоточено более 200 звезд-гипергигантов. Благодаря высокой четкости снимков на них можно увидеть

отдельные звезды, даже сквозь молекулярные облака.

#### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной функцией телескопа VST является проведение глубоких, многоцветных обзоров, а также поиск редких астрономических объектов и событий во Вселенной. На VST ведутся три хорошо разработанных проекта, и они, как ожидается, будут реализовываться в течение ближайших пяти лет. Для этого инструмента был разработан специализированный программный комплекс; он предназначен для обработки большого объема данных, полученных с помощью телескопа. Объем информации может составлять около 30 терабайт в год. Запланированы обзоры небесной сферы. Ниже расскажем о трех наиболее крупных из них.

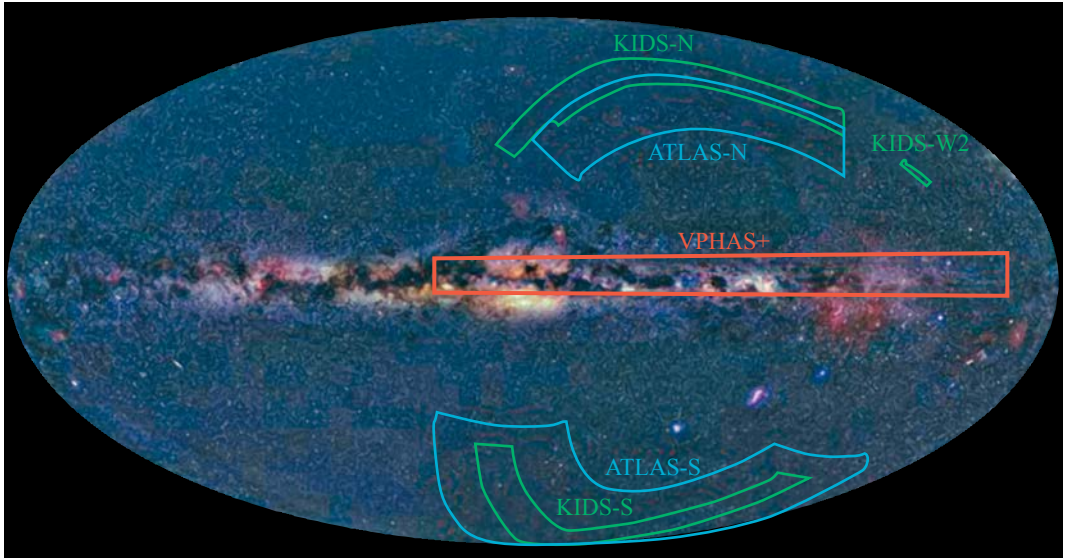
*Обзор KIDS.* Это исследование изображений на участке неба площадью 1500 квадратных градусов в четырех фотометрических полосах (U, V, R, I; 3500–8000 Å). Полученные данные дополняют наблюдения в ближнем инфракрасном диапазоне (около 8000 Å), полученные с помощью телескопа VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) – последнее



*Шаровое звездное скопление  $\omega$  Центавра (NGC 5139), находится на расстоянии 18300 св. лет от нас. Одно из первых его изображений, полученных 8 июня 2011 г. с помощью 2,6-м телескопа VST Европейской Южной Обсерватории. Фото ESO.*



*Галактика в Треугольнике (M33, NGC 598), находится на расстоянии 2,77–3,07 млн св. лет от нас. Снимок получен 6 августа 2015 г. с помощью 2,6-м телескопа VST Европейской Южной Обсерватории. Фото ESO.*



Контурами разных цветов показано распределение обзоров по небесной сфере, которые планируется выполнить в ближайшие пять лет с помощью телескопа VST ESO: KIDS-N (зеленый), KIDS-W2 (зеленый), KIDS-S (зеленый), ATLAS-N (голубой), ATLAS-S (голубой), VPHAS+ (красный). Буквы N, S, W обозначают соответственно север, юг, запад – положение обзоров на небесной сфере.

дополнение к массиву телескопов ESO, с помощью которых проводится обзор площадью в тысячу квадратных градусов. На этом телескопе осуществляется инфракрасная съемка нашей Галактики (проект VIKING). Объединенные данные содержат информацию в девяти спектральных полосах в диапазоне – от оптических длин до инфракрасных длин волн. Большая площадь неба, покрываемая обзорами, обеспечивает получение более глубоких изображений, чем в обзоре SDSS (Sloan Digital Sky Survey; Земля и Вселенная, 2004, № 3, с. 61; 2004, № 4, с. 92) на 2,5 величины – и с более вы-

соким качеством. Научные задачи KIDS включают в себя изучение гало темной материи и свойства темной энергии с помощью слабого линзирования, а также поиск квазаров и скоплений галактик с большим красным смещением, изучение эволюции галактик.

**Обзор ATLAS.** Начал работу в августе 2011 г. Нацелен на исследование Южного неба площадью 4500 квадратных градусов в пяти фильтрах (U, V, R, I, Z; 3500–8500 Å) для звездных величин, сопоставимых с SDSS. Обзор ATLAS дополняется также обзором в ближнем инфракрасном диапазоне,

производимом на телескопе VISTA. Основная цель обзора – изучение “барионных акустических осцилляций” (барионные возмущения малой амплитуды – волны плотности межзвездной материи, наблюдаемые в спектре мощности пространственного распределения галактик). Объектом исследования в этом обзоре стали красные галактики (Luminous Red Galaxies), имеющие очень узкий диапазон цветов и внутренней светимости; очень яркие, они хорошо наблюдаются на больших расстояниях. Главной научной целью обзора стало определение уравнения состояния темной

энергии путем обнаружения барионных осцилляций. Наряду с этим, обзор ATLAS – это база изображений для спектроскопических исследований на VLT.

*Обзор VPHAS+ (в фильтре  $H_{\alpha}$ )*. Охватывает значительную часть южной Галактической плоскости площадью 1800 квадратных градусов, используя пять фотометрических полос (U, V,  $H_{\alpha}$ , R, I; 3500–8000 Å). Он предназначен для изучения около 500 млн объектов, включая многие редкие типы звезд – такие, как

бинарные звезды типа Т Тельца. Обзор также будет использован для определения структуры Галактического диска и понимания звездообразования в истории Млечного Пути.

В дополнение к трем описанным выше обзорам осуществляется ряд проектов в рамках гарантированного договора на предоставление наблюдательного времени между ESO и Астрономической обсерваторией Каподимонте.

Российские астрономы имеют фактическую возможность присоеди-

ниться к наблюдениям. Дело в том, что ESO прекращает финансирование VST в 2024 г., и для продолжения работ некоторая часть необходимых средств может быть получена и от российской стороны. В этом случае российские астрономы будут иметь гарантированное время наблюдений на VST.

Такова история телескопа VST – небольшого инструмента в сравнении со своими гигантскими собратьями, – но уже внесшего значимый вклад в большую науку. Впереди – новые открытия!

## НОВЫЕ КНИГИ

### Календарь по астрономии

Спешим обрадовать всех, кто с нетерпением ждал появления очередного издания “Школьного астрономического календаря на 2017–2018 учебный год”: новый выпуск вышел в свет и скоро поступит в продажу! Издание, как обычно, станет лучшим помощником для астрономов. Он издается уже на протяжении нескольких десятков лет (Земля и Вселенная, 2009, № 6, с. 110–111); нынешний выпуск – 68-й по счету!

В очередном сборнике авторы по традиции рассказывают любителям астрономии, школьникам и педагогам о самых интересных



астрономических явлениях, о памятных датах в истории астрономии и космонавтики, разъясняются научные термины. Календарь содержит основные сведения о различных небесных объектах, подвижную карту звездного неба и другие

справочные материалы, необходимые для наблюдений в 2017–2018 учебном году. Из него можно узнать, как правильно выбрать время для наблюдения Луны и планет в период их наилучшей видимости, в какой области неба следует наблюдать метеоры, в каких созвездиях расположены самые интересные звезды, туманности и галактики.

Авторы “Календаря” – кандидат физико-математических наук Михаил Юрьевич Шевченко и кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник Института космических исследований РАН Олег Станиславович Угольников. “Школьный астрономический календарь”, несомненно, станет надежным помощником при проведении простейших астрономических наблюдений!