

ПЕРВАЯ КНИГА О МНОГОКАНАЛЬНОЙ АСТРОНОМИИ

DOI: 10.7868/50044394819050141

Многоканальная астрономия окончательно “вступила в свои права” после открытия в 2015 г. гравитационных волн от слияния черных дыр и нейтронных звезд в двойных системах. Если в XX веке астрономия, по очень точному определению И.С. Шкловского, стала всеволновой, то в XXI веке астрономия превратилась в многоканальную науку: она исследует Вселенную как в канале электромагнитных волн, так и в других каналах: нейтронном, канале космических лучей и гравитационных волн. Это открывает принципиально новые возможности исследований астрофизических объектов, что приводит к выдающимся открытиям в области астрономии.

В 2019 г. в издательстве “Век-2” вышла в свет научно-популярная книга “Многоканальная астрономия”. Редактор-составитель книги – академик А.М. Черепашук, в составе авторов – 26 ведущих ученых страны. Объем книги – 40 печатных листов.

В первой половине книги изложены методы исследования Вселенной в различных каналах: электромагнитном, нейтронном, канале космических лучей, в гравитационно-волновом канале. Во второй половине кратко описаны новейшие достижения в астрономии и астрофизике, на основе которых сформирована современная “Картина Мира”. Порядок расположения глав в первой части книги соответствует трем видам известных физических взаимодействий: электро-



слабому (при низких энергиях расщепляется на электромагнитное и слабое взаимодействие), сильному и гравитационному.

Насколько нам известно, это – первая книга в нашей стране о многоканальной астрономии и, по-видимому, одна из первых в мире. Она представляет собой хорошее дополнение к популярной книге “Астрономия: век XXI”, вышедшей в третьем издании в 2015 г. в том же издательстве “Век-2”. Первая половина обсуждаемой книги состоит из 4-х частей.

Первая часть “**Электромагнитные волны**” состоит из шести глав, в которых представлены различные

диапазоны канала электромагнитных волн, описаны соответствующие инструменты и методы исследований.

Первая, “*Оптический диапазон*”, написана А.А. Белинским и С.А. Потаниным, здесь изложена история оптического телескопостроения, методы исследований в оптическом диапазоне, а также дано описание перспективных проектов, включая будущие проекты наземного 39-м экстремально большого телескопа Южной Европейской обсерватории и 6,5-м космического телескопа Джеймса Вэбба (NASA).

Во второй – “*Инфракрасная астрономия*”, написанной А.М. Татарниковым, описаны наземные и космические телескопы и приемники ИК-излучения, ИК-фотометрические системы, а также изложены специфические методы исследований в ИК-диапазоне.

В третьей, “*Радиодиапазон*”, написанной Ю.Ю. Ковалёвым, дан обзор наземных и космических радиотелескопов и радиоинтерферометров, приемников радиоизлучения. Изложена история борьбы с помехами в радиодиапазоне. Приведены выдающиеся результаты наблюдений на российском радиоинтерферометре “Радиоастрон” с угловым разрешением в 20 мкс. Приятно отметить, что впервые идея глобального наземного радиоинтерферометра с межконтинентальной базой была высказана в работе отечественных ученых Л.И. Матвеевко, Н.С. Кардашёва и Г.Б. Шоломицкого, опубликованной в 1965 г. Описаны перспективные радиоастрономические проекты, включая международный проект SKA

(решетка-интерферометр площадью квадратный километр), а также российский космический интерферометр “Миллиметр”. Отмечается перспективность размещения радиотелескопов на обратной стороне Луны.

Четвертая – “*Ультрафиолетовый диапазон*”, написанная Б.М. Шустовым, посвящена в основном космическим проектам в УФ-диапазоне, включая российский проект “Спектр-УФ”. Описаны достижения УФ-астрономии и перспективные задачи в этой области астрофизики.

В пятой главе – “*Рентгеновская астрономия*”, написанной А.А. Лутовиновым и М.Н. Павлинским, рассказывается об истории развития рентгеновской астрономии, в которую советские и российские ученые внесли весомый вклад. Изложены методы космических рентгеновских наблюдений с использованием телескопов с кодирующей апертурой и телескопов косоугольного падения. Описаны перспективные рентгеновские космические проекты, включая российский “Спектр-РГ”, который планируется реализовать в 2019 г.¹ Отмечается, что наблюдения на космической обсерватории ИНТЕГРАЛ, где российские ученые имеют 25% наблюдательного времени, наряду с наблюдениями с борта обсерватории Ферми, обнаружили всплеск электромагнитного гамма-излучения, сопутствующий гравитационно-волновому всплеску от

В книге описаны перспективные радиоастрономические проекты, включая международный проект SKA (решетка-интерферометр площадью квадратный километр), а также российский космический интерферометр “Миллиметр”. Отмечается перспективность размещения радиотелескопов на обратной стороне Луны

¹ 13 июля 2019 года был осуществлен успешный запуск космической рентгеновской обсерватории “Спектр-РГ”.

слияния нейтронных звезд в двойной системе GW170817.

В шестой главе – “Гамма-астрономия”, написанной К.А. Постновым, представлены физические условия и механизмы формирования гамма-излучения в астрофизических объектах, процессы распространения гамма-фотонов. Изложены специфические наземные и космические методы наблюдений в гамма-диапазоне, включая телескоп LAT космической обсерватории им. Ферми (NASA), а также наземные черенковские гамма-телескопы.

Вторая часть книги – “**Нейтринный канал**” – написана С.В. Троицким и посвящена описанию методов исследования в канале нейтрино. Описаны уникальные свойства этих частиц и методы их регистрации. Отмечается недавнее открытие осцилляций нейтрино, что позволило согласовать термоядерную модель внутреннего строения Солнца с результатами наблюдений солнечных нейтрино. Сформулирована так называемая новая проблема солнечных нейтрино. Изложена история регистрации нейтрино от сверхновой 1987А. Описаны результаты наблюдений астрофизических нейтрино высоких энергий. Замечательно то, что в данном случае процессы рождения нейтрино связывают потоки высокоэнергичных частиц в трех различных каналах: космические лучи, нейтрино и гамма-излучение. Подробно рассмотрено событие 22 сентября 2017 г., когда была обнаружена вспышка гамма-излучения от блазара, приблизительно совпадающая по времени и направлению с нейтринным событием.

Вторая часть книги посвящена описанию методов исследования в канале нейтрино. Описаны уникальные свойства этих частиц и методы их регистрации. Отмечается недавнее открытие осцилляций нейтрино, что позволило согласовать термоядерную модель внутреннего строения Солнца с результатами наблюдений солнечных нейтрино

Многоканальный характер современной астрономии особенно ярко раскрывается в таких исследованиях. Описаны перспективы дальнейших исследований в нейтринном канале, в том числе с использованием новейших детекторов Ice Cube и Байкал-GVD.

Третья часть – “**Космические лучи**”, написанная М.И. Панасюком, посвящена истории открытия и исследования космических лучей, в том числе космических лучей сверхвысоких энергий. Изложены механизмы формирования космических лучей разных энергий в астрофизических объектах – активных областях на Солнце, в остатках вспышек сверхновых, в ядрах галактик и т.п. Представлены результаты поиска эффекта Грейзена–Зацепина–Кузьмина – “обрезания” спектра космических частиц сверхвысоких энергий за счет их взаимодействия с фотонами реликтового излучения. Описаны перспективные наземные и космические проекты по исследованию космических лучей.

Четвертая часть – “**Гравитационные волны**” – состоит из 15 глав и посвящена описанию методов исследований гравитационных волн (ГВ) и новейших выдающихся открытий в этой области науки на лазерных ГВ-интерферометрах LIGO (США) и Virgo (Италия). Приятно отметить, что основополагающая идея о том, что для наблюдений гравитационных волн целесообразно использовать лазерный интерферометр, была впервые высказана в нашей стране М.Е. Герценштейном и В.И. Пустовойтом в 1962 г., а многолетние исследования группы В.Б. Брагинского (МГУ)

и группы Е.А. Хазанова (ИПФ РАН) в этом направлении внесли существенный вклад в реализацию лазерных ГВ-антенн LIGO.

Первая глава – “Открытие гравитационных волн”, написана С.П. Вятчаниным – непосредственным участником эксперимента LIGO и соавтором статьи, посвященной открытию ГВ. Автор описал историю проблемы поиска ГВ, специфические трудности регистрации ГВ-сигналов и представил детальное описание основных узлов лазерных ГВ-интерферометров. Особое внимание при этом уделено анализу влияния различных источников шумов на результаты ГВ-измерений и предложены эффективные методы борьбы с ними. Описан так называемый стандартный квантовый предел в ГВ-измерениях, а также перспективные методы преодоления этого предела.

Во второй главе – “Природа источников гравитационных волн”, написанной К.А. Постновым, дано описание свойств ГВ и их отличия от электромагнитных волн. Изложены методы интерпретации ГВ-сигналов и определения основных параметров сливающихся черных дыр и нейтронных звезд. Описаны другие источники гравитационных волн: пульсары, вспышки сверхновых, низкочастотные источники ГВ от слияния двойных сверхмассивных черных дыр, космологические гравитационные волны и т.п.

Третья глава – “Локализация источника гравитационных волн” – написана В.М. Липуновым, создателем роботизированной системы телескопов “МАСТЕР”. Приятно отметить, что важное

предсказание о том, что на ГВ-обсерватории LIGO первыми должны быть зарегистрированы сигналы от слияния черных дыр, а не от нейтронных звезд, было сделано в нашей стране в работе сотрудников ГАИШ МГУ В.М. Липунова, К.А. Постнова и М.Е. Прохорова, опубликованной в 1997 г. Автор подробно описал развитую в его группе

эволюционную “машину сценариев” для тесных двойных систем, рассказал о наблюдениях с помощью системы “МАСТЕР” областей локализации ГВ-сигналов от слияния черных дыр и нейтронных звезд. Подробно изложил историю открытия килоновой в галактике NGC4993, сопутствующей ГВ-сигналу от слияния нейтронных звезд; рассказал о физике нейтронных звезд, дал

оценку частоты слияния нейтронных звезд и черных дыр в Галактике, описал будущие исследования в области гравитационно-волновой астрономии.

В четвертой главе – “Ограничения на физические теории, следующие из открытия гравитационных волн”, написанной С.О. Алексеевым, представлены наблюдения ГВ от слияния черных дыр и нейтронных звезд, которые позволяют осуществить детальное тестирование ОТО Эйнштейна в сильных полях, а также проверить различные альтернативные физические теории и обобщения ОТО. Отмечается, что главными наблюдаемыми явлениями, для объяснения которых необходим выход за пределы ОТО, являются: темная энергия, темная материя, отсутствие самосогласованной квантовой теории гравитации, отсутствие единой теории всех физических взаимодействий.

Важное предсказание о том, что на ГВ-обсерватории LIGO первыми должны быть зарегистрированы сигналы от слияния черных дыр, а не от нейтронных звезд, было сделано в нашей стране в работе сотрудников ГАИШ МГУ В.М. Липунова, К.А. Постнова и М.Е. Прохорова, опубликованной в 1997 г.

Автор подробно описал ряд направлений в исследованиях, которые могли бы помочь в решении этих проблем, с учетом результатов новейших гравитационно-волновых экспериментов.

Пятая глава – “Гравитационные сигналы Вселенной” – представлена В.Н. Руденко. В ней описана текущая фаза ГВ-эксперимента, реализуемая на наземных обсерваториях LIGO и Virgo, а также отражены ступени модернизации ГВ-детекторов, включая европейский проект “Телескоп Эйнштейна”. Изложены перспективы реализации космических ГВ-детекторов, работающих на низких частотах (проект eLISA). Описаны различные научные задачи, решаемые будущими ГВ наземными и космическими интерферометрами.

В большой по объему второй половине книги описана современная астрономическая картина мира, построенная на основе исследований в различных каналах.

В первой главе – “Исследование планет” – академик М.Я. Маров успешно справился с трудной задачей – описанием в небольшом объеме всего накопленного научного материала по планетам, их спутникам, кольцам, малым телам Солнечной системы, а также экзопланетам вокруг других звезд. Приятно отметить, что многие результаты космических исследований планет, в частности планеты Венеры, были впервые получены в нашей стране при участии М.Я. Марова.

Вторая глава – “Солнце – этапы познания” – написана В.Н. Обридко. Автор избрал исторический подход к описанию астрофизических исследований

нашего дневного светила. Он рассказал о внутреннем строении Солнца, источниках термоядерной энергии в его недрах, о проблеме солнечных нейтрино, о результатах гелиосейсмологии, о магнитных полях, активных областях на Солнце, о солнечной короне, о солнечно-земных связях и других проблемах, связанных с исследованием этой ближайшей к нам звезды.

В третьей главе – “Звезды и звездные населения” – А.С. Расторгуев, А.К. Дамбис и Н.Н. Самусь представили обзор методов астрометрических, фотометрических и спектральных наблюдений звезд, их классификацию и эволюционные пути. Дано также описание химического состава звезд и особенностей звездных населений, шаровых и рассеянных звездных скоплений. При-

ведены новейшие данные, полученные в результате осуществления космической миссии Гайя. Описаны различные типы переменных звезд и перспективы их классификации и каталогизирования.

В четвертой главе – “Сверхновые звезды и гамма-всплески”, написанной С.И. Блинниковым и Д.Ю. Цветковым, рассказывается о богатых наблюдательных данных о сверхновых разных типов, в том числе находящихся за пределами видимого диапазона спектра. Представлена современная классификация типов сверхновых, физика взрывов сверхновых (подчеркнута связь сверхновых с гамма-всплесками), рассмотрены варианты решения внутренней и внешней задачи физики сверхновых. Представлено описание уже изученных сверхновых типа Ia как

В книге дано описание химического состава звезд и особенностей звездных населений, шаровых и рассеянных звездных скоплений. Приведены новейшие данные, полученные в результате осуществления космической миссии Гайя. Описаны различные типы переменных звезд и перспективы их классификации и каталогизирования

стандартных свечей, а также коллапсирующих сверхновых. Рассмотрены различные механизмы взрыва сверхновой при коллапсе ядра звезды: взрыв под действием нейтринного потока, магниторотационный механизм, слияния и взрывы нейтронных звезд. Описаны перспективы развития теории взрыва коллапсирующих сверхновых.

Пятая глава – “Многоликие галактики”, написанная А.В. Засовым и О.К. Сильченко, посвящена истории исследований галактик и их классификации. В ней приведены данные о радиоизлучении галактик и активных ядер, а также данные о нейтральном водороде в галактиках. Описаны современные данные об ультрафиолетовых исследованиях галактик, а также данные о рентгеновских гало галактик. Рассмотрены ранние галактики с супервспышками звездообразования, изложен общий ход эволюции галактик на базе результатов новейших исследований.

В шестой главе – “Черные дыры”, написанной А.М. Черепашуком, обращено внимание на удивительные особенности черных дыр. Приведены современные наблюдательные данные о черных дырах звездных масс в рентгеновских двойных системах, а также в гравитационно-волновых двойных системах. Описаны наблюдательные данные о сверхмассивных черных дырах в ядрах галактик. Изложены результаты исследования демографии черных дыр – рождения, роста черных дыр и их связи с классическими объектами Вселенной – звездами, галактиками и т.п. Анализируются перспективы окончательного доказательства горизонта событий у черных дыр путем изучения в гравитационно-волновом канале квазинормальных мод колебаний вновь образовавшейся черной дыры, которая сформировалась при слиянии

двух менее массивных черных дыр. Автор приводит предварительные результаты наблюдений ядер галактик на коротких радиоволнах с помощью интерферометра ЕНТ (Event Horizon Telescope) с целью построения изображения темной “тени” от сверхмассивных черных дыр².

В седьмой главе – “Космология”, написанной М.В. Сажиным и О.С. Сажинной, говорится о космологии – науке об исследовании Вселенной в целом и отмечена ее важная роль в современной структуре знаний. Сформулированы шесть основ современной наблюдательной космологии: открытие расширения Вселенной, открытие реликтового излучения, обнаружение крупномасштабной структуры Вселенной, наблюдение анизотропии реликтового излучения, открытие ускоренного расширения Вселенной, открытие гравитационных волн. Рассмотрены различные этапы эволюции Вселенной и описаны самые ранние фазы образования и развития Вселенной, включая доинфляционную эпоху.

Предисловие и Заключение написаны редактором-составителем книги А.М. Черепашуком.

Книга может быть полезна школьникам старших классов, учителям школ, студентам вузов, профессорам и преподавателям высшей школы, научным работникам, любителям астрономии, а также широкому кругу читателей, интересующихся наиболее актуальными проблемами науки.

²10 апреля 2019 г. было объявлено о действительном наблюдении темной тени от сверхмассивной черной дыры на фоне яркого аккреционного диска в центре галактики М87.

А.М. Черепашук,
академик
ГАИШ МГУ