

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	8
МЕТОДЫ АСТРОНОМИИ	9
ГЛАВА 1. АСТРОНОМЫ И ОБЪЕКТЫ ИХ ИНТЕРЕСА.	11
Занятие 1	11
1.1. Астрономическая наука в прошлом и теперь.	11
1.2. Астрономия как профессия и хобби	12
1.3. Где работают астрономы и чем занимаются.	14
1.4. Что способствует и что мешает изучению Вселенной	14
Занятие 2	16
2.1. Типы астрономических объектов и роль научных приборов в расширении горизонта знаний.	17
2.2. Тёмное вещество и тёмная энергия	18
2.3. Общее представление об эволюции Вселенной.	20
ГЛАВА 2. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ. ТЕЛЕСКОПЫ И ОБСЕРВАТОРИИ ..	23
Занятие 3	23
3.1. Свет, глаз и оптические приборы.	23
3.2. Законы распространения, отражения и преломления электромагнитных волн	25
3.3. Зеркала, линзы и призмы. Оптические объективы; их особенности и недостатки (сферическая и хроматическая абберации)	27
Занятие 4	31
4.1. История создания и принцип работы телескопов.	31
4.2. Рефракторы, рефлекторы и зеркально-линзовые системы ..	34
4.3. Обсерватории мира	40
ГЛАВА 3. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ.	43
Занятие 5	43
5.1. Приёмники излучения	43
5.2. Влияние земной атмосферы на оптические наблюдения ..	49
5.3. Активная и адаптивная оптика	50
Занятие 6	52
6.1. Излучение небесных тел	52
6.2. Радиоастрономия	54
6.3. Внеатмосферная астрономия	58

Занятие 7	59
7.1. Звёздные величины и другие логарифмические шкалы	60
7.2. Принцип работы спектрографа. Спектры излучения и поглощения	63
7.3. Эффект Доплера и его использование в астрономии	64
ГЛАВА 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ	69
Занятие 8	69
8.1. Методы измерения расстояний до космических тел	69
8.2. Суточный и годичный параллаксы	73
8.3. Единицы расстояния в астрономии	74
Занятие 9	76
9.1. Положение объектов на небесной сфере: созвездия и астеризмы	76
9.2. Основные системы небесных координат	81
Занятие 10	86
10.1. Видимое движение звёзд и Солнца	86
10.2. Время звёздное и солнечное	89
10.3. Часовые механизмы и географическая долгота	91
10.4. Спутниковые системы глобального позиционирования	92
Занятие 11	94
11.1. Часовые пояса и часовые зоны	95
11.2. Всемирное время и координированное время	95
11.3. Декретное время, летнее и зимнее время	98
11.4. Календарь	99
ГЛАВА 5. ДВИЖЕНИЕ И ГРАВИТАЦИЯ	103
Занятие 12	103
12.1. Взаимные конфигурации и видимое движение планет и спутников	103
12.2. Солнечные и лунные затмения	109
Занятие 13	114
13.1. Переход от геоцентризма к гелиоцентризму	115
13.2. Эмпирические законы Кеплера и закон гравитации Ньютона	118
Занятие 14	123
14.1. Ракеты и другие способы перемещения в космосе	123
14.2. Космические полёты и человек в космическом пространстве	129
Занятие 15	134
15.1. Приливный гравитационный эффект	134
15.2. Проявление приливов на Земле и в системах «планета—спутник»	135

ОБЪЕКТЫ АСТРОНОМИИ	143
ГЛАВА 6. ПЛАНЕТЫ	145
Занятие 16	145
16.1. Солнечная система: основные группы объектов и их характеристика	145
16.2. Методы изучения Солнечной системы: телескопы и зонды .	148
16.3. Методы и результаты поиска планетных систем у других звёзд.	150
Занятие 17	153
17.1. Физические условия на поверхности планет	153
17.2. Атмосфера и её парниковый эффект	157
17.3. Венера	159
Занятие 18	162
18.1. Марс: история изучения и география	163
18.2. Марс: климат и следы эрозии	167
Занятие 19	172
19.1. Планеты-гиганты	172
19.2. Планеты-карлики	180
ГЛАВА 7. СПУТНИКИ ПЛАНЕТ. МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	184
Занятие 20	184
20.1. Спутники планет	184
20.2. Луна	189
20.3. Планеты-спутники	191
Занятие 21	195
21.1. Астероиды и кометы	195
21.2. Метеороиды, метеоры, метеориты	201
21.3. Астероидно-кометная опасность	205
Занятие 22	208
22.1. Жизнь в Солнечной системе и за её пределами.	208
22.2. Происхождение и эволюция планетных систем	213
22.3. Экзопланеты: перспективы исследования	214
ГЛАВА 8. ЗВЁЗДЫ	217
Занятие 23	217
23.1. Основные характеристики звёзд: методы измерения . . .	217
23.2. Звёзды: масса, радиус, светимость, температура и химический состав поверхности	223
23.3. Диаграмма Герцшпрунга–Рассела	227

Занятие 24	229
24.1. Модели внутреннего строения звёзд	229
24.2. Источники энергии звёзд	232
24.3. Нейтринная астрономия	235
Занятие 25	238
25.1. Солнце. Как безопасно его наблюдать	238
25.2. Явления солнечной активности	243
25.3. Влияние Солнца на Землю	248
Занятие 26	250
26.1. Формирование звёзд	250
26.2. Основные этапы эволюции звёзд	255
Занятие 27	258
27.1. Поздние стадии эволюции звёзд	258
27.2. Планетарные туманности	262
27.3. Белые карлики	266
Занятие 28	270
28.1. Сверхновые звёзды	270
28.2. Нейтронные звёзды. Пульсары. Чёрные дыры	276
28.3. Гравитационно-волновая астрономия	281
ГЛАВА 9. ГАЛАКТИКИ И КОСМОЛОГИЯ	283
Занятие 29	283
29.1. Общие характеристики нашей Галактики	283
29.2. Межзвёздная и межгалактическая среда	289
29.3. Проблема тёмного вещества	292
Занятие 30	294
30.1. Галактики и их морфология	294
30.2. Местная группа галактик	299
30.3. Взаимодействующие и прочие пекулярные галактики	302
Занятие 31	307
31.1. Скопления галактик	308
31.2. Движение галактик в скоплениях и тёмное вещество	313
31.3. Эффект гравитационной линзы и тёмное вещество	314
Занятие 32	319
32.1. Красное смещение линий в спектрах галактик и закон Хаббла	319
32.2. Теория Большого взрыва и гипотеза инфляции	324
32.3. Формирование вещества и реликтового излучения	329

Занятие 33	332
33.1. Рождение галактик. Галактический каннибализм	333
33.2. Ускоренное расширение Вселенной. Тёмная энергия	337
Занятие 34	343
34.1. Будущее Земли, Солнечной системы и Вселенной в целом	343
Занятие 35	348
35.1. Темы для рефератов	348
35.2. Задания для наблюдений	349
35.3. Темы для обсуждения и дискуссий	350
Верные ответы для тестов самопроверки	351
Приложения	352
Задачи	352
Полезные для учителя материалы	352
Международная система единиц (СИ)	363
Алфавиты	364
Единицы длины	365
Соотношения единиц для перевода в международную систему единиц (СИ)	365
Некоторые математические величины	365
Некоторые физические постоянные	366
Некоторые астрономические постоянные	366
Виды вечернего звёздного неба в средней полосе России	372
Список литературы	375
Полезные программы для компьютера	376
Предметный указатель	377

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГАИШ МГУ	— Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
ГЛОНАСС	— Глобальная навигационная спутниковая система
ГП	— главная последовательность
КГ	— красный гигант
ПЗС	— прибор с зарядовой связью
САО	— Специальная астрофизическая обсерватория РАН
ФЭУ	— фотоэлектронный умножитель
ALMA (Atacama Large Millimeter Array)	— Атакамская большая антенная решётка миллиметрового диапазона
ESA (European Space Agency)	— Европейское космическое агентство
ESI (Earth Similarity Index)	— Индекс подобия Земле
ESO (European Southern Observatory)	— Европейская южная обсерватория в Чили
GPS (Global Positioning System)	— Система глобального позиционирования
HST (Hubble Space Telescope)	— Космический телескоп «Хаббл» (NASA, ESA)
LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)	— Лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория
NASA (National Aeronautics and Space Administration)	— Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства
NOAO (National Optical Astronomy Observatory)	— Национальная оптическая астрономическая обсерватория США
NRAO (National Radio Astronomy Observatory)	— Национальная радиоастрономическая обсерватория США



МЕТОДЫ АСТРОНОМИИ



ГЛАВА 1

АСТРОНОМЫ И ОБЪЕКТЫ ИХ ИНТЕРЕСА

ЗАНЯТИЕ 1

- 1.1. Астрономическая наука в прошлом и теперь.
- 1.2. Астрономия как профессия и хобби.
- 1.3. Где работают астрономы и чем занимаются.
- 1.4. Что способствует и что мешает изучению Вселенной.

1.1. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ НАУКА В ПРОШЛОМ И ТЕПЕРЬ

Астрономия — наука о Вселенной. В прошлом к астрономическим объектам и явлениям относили те, что наблюдаются за пределами Земли, в мире звёзд и планет. Само слово «астрономия» происходит от древнегреческих «астрон» — звезда и «номос» — закон. Тысячелетиями астрономы лишь наблюдали объекты своих исследований издалека, не имея возможности приблизиться к ним и прикоснуться к их веществу приборами или даже руками. Но в наше время, благодаря космонавтике, многое изменилось: люди побывали на Луне, а научные приборы работают вблизи и даже на поверхности планет, их спутников, астероидов и комет. Теперь и Землю астрономы изучают как небесный объект, равноправный с прочими планетами.

Разумеется, ученые других специальностей — географы, геологи, геофизики, биологи и специалисты по физике атмосферы подробнее, чем астрономы, изучают отдельные явления на Земле. Но объединить все факты о Земле в единую картину происхождения и эволюции нашей планеты невозможно без учёта астрономических знаний, полученных при изучении других планет, а также Солнца и прочих звезд. Когда интересы и знания традиционных наук сходятся на одном предмете

исследования, рождаются новые научные направления — астрофизика, астрохимия, астробиология, планетология и т.п. С астрономией их объединяют не только общие объекты исследования, как правило, далекие от Земли, но и методы исследования, как правило, дистанционные. Поэтому всю совокупность этих новых научных направлений принято называть одним общим словом — астрономия.

Зародилась астрономия в глубокой древности из насущных потребностей человека. Наблюдая за регулярным движением Солнца, Луны и звёзд на небе, люди давно научились планировать своё время, предвидеть наступление сезонов года и ориентироваться в пространстве. Если называть наукой систематическое наблюдение за природными явлениями и выяснение законов, которым эти явления подчиняются, то астрономия была первой из наук. Относительная простота астрономических явлений — восходов и заходов Солнца, смены лунных фаз, появления ярких звёзд на сумеречном небе — укрепляли веру человека в возможность понимать и прогнозировать природные явления. Эта вера стимулировала развитие и других наук, особенно математики и физики. Постепенно астрономия изменила восприятие мира, находящегося вне Земли, и доказала познаваемость мира и единство законов природы, действующих как на нашей планете, так и далеко за её пределами. Хотя фронт астрономических исследований ушёл сегодня чрезвычайно далеко от Земли и приблизился к границам Вселенной, астрономические открытия и поныне стимулируют развитие физики, которая, в свою очередь, служит основой современных технологий.

1.2. АСТРОНОМИЯ КАК ПРОФЕССИЯ И ХОББИ

Профессиональные астрономы (а их во всем мире около 15 тыс. человек), как и все прочие специалисты естественных наук — физики, химики, биологи, исследуют природу, добывая новые знания о ней. Эти знания принято делить на фундаментальные и прикладные. Но такое разделение весьма условно. Прикладные знания можно использовать немедленно. А фундаментальные, хотя и кажется, что они лишь удовлетворяют любознательность самих учёных, тоже рано или поздно находят практическое применение.

Например, во времена Древней Греции важной прикладной задачей для астрономии был счёт времени: днём — с помощью солнечных часов, а ночью — по положению звезд. Ещё важнее для греческой экономики было ведение календаря, регулирующего сельскохозяйственные работы и сбор налогов. Разработкой календаря тоже занимались астрономы. Кроме того, «для души», можно сказать, из праздного любопытства,

они фиксировали перемещение планет на фоне звёздного неба и пытались создать математическую теорию их движения. Почти 2 тыс. лет это занятие не имело никакого практического значения, но в XVII в. оно стимулировало бурное развитие физики, а за ней и техники.

Подобная традиция продолжается поныне. Профессиональные астрономы ведут немало прикладных работ: следят за полётом и вычисляют траектории искусственных спутников и межпланетных аппаратов, выявляют опасные для Земли астероиды и кометы, координируют службу времени, изучают движение Земли и других планет. Но при этом они не забывают и о фундаментальных исследованиях. Например, полвека назад астрономы обнаружили нейтронные звёзды-пульсары — сверхплотные, быстро вращающиеся голые ядра массивных звёзд. Немало сил за эти полвека было потрачено на их исследование, и никому не приходило в голову практическое использование этих знаний. Однако недавно стало понятно, что регулярные импульсы, испускаемые нейтронными звездами, могут стать основой для глобальной навигационной системы, подобной Системе глобального позиционирования (Global Positioning System, GPS) или Глобальной навигационной спутниковой системе (ГЛОНАСС), причём действующей не только у поверхности Земли, но и на просторах всей Солнечной системы и даже Галактики.

Для профессионального занятия астрономией требуются глубокие знания по физике, математике, вычислительной технике и электронике, которые можно получить только в лучших университетах страны. Чтобы оставаться на переднем крае науки, профессионалу приходится ограничивать область своих интересов. Для любознательного человека это нелегко, но иного пути нет: если хочешь стать экспертом, нужно углубиться в одном направлении, оставляя без пристального внимания другие.

Разумеется, астрономией интересуются не только профессионалы. Миллионы любознательных людей, независимо от их специальности, следят за результатами научных исследований в разных областях. Они интересуются наукой, но сами не создают новые научные знания. И правда, трудно представить себе исследования по физике элементарных частиц или физиологии мозга в домашних условиях. Однако в астрономии такая возможность есть: небо как исследовательская лаборатория доступно для всех. Поэтому астрономическими наблюдениями как серьёзным хобби занимаются сотни тысяч людей по всей Земле. Используя собственные телескопы или материалы, полученные с помощью профессиональных инструментов и доступные в Интернете, они открывают новые астероиды и кометы, следят за

жизнью звёзд, классифицируют галактики, занимаются компьютерной обработкой изображений. Космос велик, в нем постоянно происходит что-то новое. Немногочисленным профессиональным астрономам трудно за всем уследить. Поэтому помощь грамотных и увлечённых любителей астрономии весьма полезна для науки. К тому же астрономия как хобби — чрезвычайно интересное и захватывающее занятие.

1.3. ГДЕ РАБОТАЮТ АСТРОНОМЫ И ЧЕМ ЗАНИМАЮТСЯ

Астрономия — наука наблюдательная, поэтому главное рабочее место астронома — это обсерватория, где установлены телескопы для изучения небесных объектов. Большинство обсерваторий расположено в горах, вдали от населённых мест (рис. 1.1). Условия жизни в обсерваториях довольно суровые. Сам процесс наблюдения в недавнем прошлом требовал непрерывного присутствия астронома у телескопа; а провести ночь в тёмной и холодной башне телескопа — это нелёгкое испытание. Но в последние годы большинство телескопов автоматизированы настолько, что астроном может управлять ими из тёплого и светлого соседнего помещения или даже издалека, порой с другого континента. Создаётся всё больше телескопов-роботов, самостоятельно по программе выполняющих наблюдения. Роль астронома при этом сводится к конструированию и изготовлению научных приборов, отладке компьютерных программ для управления телескопом и для обработки полученных данных, осмыслению результатов наблюдений и написанию научных статей. При этом нужно быть в курсе работы своих коллег, т.е. читать опубликованные ими статьи и посещать научные конференции для живого обмена информацией.



Рис. 1.1. Обсерватория «Сфинкс» в Швейцарских Альпах на высоте 3571 м

Кроме научной работы, многие астрономы занимаются педагогической и просветительской деятельностью: читают лекции студентам, пишут учебники и научно-популярные книги и статьи, консультируют журналистов, организуют олимпиады для школьников и курсы для учителей. Это важная обязанность учёных: если общество часть своих ресурсов отдаёт на научные исследования, то результаты этих исследований должны в доступной форме возвращаться обществу.

1.4. ЧТО СПОСОБСТВУЕТ И ЧТО МЕШАЕТ ИЗУЧЕНИЮ ВСЕЛЕННОЙ

Мы живём на дне воздушного океана. И отсюда, со дна, сквозь плотную, облачную, бурлящую атмосферу пытаемся увидеть и изучить далёкие области Вселенной. Это трудно, но возможно, если отыскать на Земле те немногие места, откуда Вселенная видна лучше всего. Основные требования к месту размещения оптической обсерватории у астрономов такие: высокие горы (чтобы подняться над плотными слоями атмосферы), безоблачное небо, сухой воздух, безветренная погода, удаленность от густонаселенных мест (чтобы избежать ночной засветки неба). При этом желательно иметь доступные источники электричества и воды, удобные дороги, а также надёжные и недорогие каналы связи. В совокупности все эти условия встречаются редко.

Например, на высочайших горных вершинах (Эверест и др.) никто не строит обсерваторий, поскольку туда нет дорог и там очень сильный ветер. Большинство обсерваторий сооружено на высоте от 2 до 4 км. В России наилучшие условия для астрономических наблюдений в горах Кавказа и Саян. В масштабах всей Земли самыми ценными для оптической астрономии местами считаются пустынные вершины Чилийских Анд и вершины древних вулканов Гавайских и Канарских островов.

Впрочем, обсерватории разного типа можно обнаружить и во множестве других мест на планете, а также за её пределами — в космосе. Каждая научная задача требует своих условий наблюдения. Например, для исследований в инфракрасном и рентгеновском диапазонах излучения атмосфера Земли служит непреодолимой преградой, а при изучении гамма-лучей высокой энергии атмосфера становится составной частью телескопа, без которой вообще невозможно их наблюдение на Земле. Инфракрасные и рентгеновские телескопы запускают в космос, а детекторы нейтрино опускают глубоко

под землю, под воду или под лед, чтобы отфильтровать все другие космические частицы и зарегистрировать только всепроникающие нейтрино. Радиотелескопы длинноволнового диапазона размещают в глухих долинах между гор, чтобы туда не проникали искусственные радиопомехи; а наиболее коротковолновые радиотелескопы устанавливают на вершинах гор, чтобы уменьшить поглощение этих волн атмосферой Земли.

Так что единых требований к месту работы у астрономов нет: каждый специалист ищет наилучшее место для своих исследований. Единственное желание, объединяющее всех астрономов, — работать подальше от цивилизации, где изучению Вселенной не мешает свет уличных фонарей, сигналы радиопередатчиков и сотовых телефонов. Вот почему астрономы мечтают поселиться на обратной стороне Луны.

ТЕСТЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1.1. Детекторы нейтрино помещают глубоко под землю или воду для...

- а) предотвращения колебаний температуры;
- б) защиты от фонового света;
- в) защиты от прочих космических частиц.

1.2. Самыми ценными для оптической астрономии местами на Земле считаются...

- а) Кавказские горы и Саяны;
- б) Альпийские вершины и Гималаи;
- в) Чилийские Анды и вершины на островах.

1.3. Горы какой высоты чаще всего используют для строительства обсерваторий?

- а) от 1 до 2 км;
- б) от 2 до 4 км;
- в) от 5 до 8 км.

1.4. Почему астрономы мечтают работать на обратной стороне Луны?

- а) чтобы быть ближе к звездам;
- б) чтобы не платить налоги;
- в) чтобы избежать земных помех.

ЗАНЯТИЕ 2

2.1. Типы астрономических объектов и роль научных приборов в расширении горизонта знаний.

2.2. Тёмное вещество и тёмная энергия.

2.3. Общее представление об эволюции Вселенной.

2.1. ТИПЫ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И РОЛЬ НАУЧНЫХ ПРИБОРОВ В РАСШИРЕНИИ ГОРИЗОНТА ЗНАНИЙ

Веками люди были знакомы лишь с теми немногочисленными небесными объектами, которые можно увидеть невооружённым глазом. К ним относятся Солнце, Луна, пять ближайших планет, несколько тысяч наиболее ярких звёзд и несколько звёздных скоплений. В ясные ночи можно также заметить светлую полосу Млечного Пути, которую образуют не различимые по отдельности миллиарды звёзд нашей Галактики. На пределе возможностей глаза люди с острым зрением в Северном полушарии могут видеть как едва заметное светлое пятнышко ещё один небесный объект — Туманность Андромеды, одну из ближайших к нам галактик. В Южном полушарии на тёмном небе хорошо заметны две соседние галактики — Большое и Малое Магеллановы Облака.

Кроме этих постоянных светил, на небе время от времени появляются и временные: мелькают метеоры, пересекают небосвод искусственные спутники Земли, а также изредка появляются и медленно перемещаются на фоне звёздного неба кометы, порой демонстрируя нам великолепные «хвосты» и бесследно исчезая через несколько недель. Всё это мы видим невооружённым глазом. И лишь астрономы, обладающие мощными телескопами, видят дальше и больше.

Но вот что любопытно: наш замечательный, не вооружённый телескопом глаз ещё до изобретения научных приборов был способен заметить практически все основные типы космических объектов. Мы видим звёзды, планеты, их спутники (обычно мы видим лишь спутник Земли — Луну, но люди с особо острым зрением видят и четыре крупных спутника Юпитера), а также межпланетное вещество — ледяные кометы и каменные астероиды, и даже замечаем межзвёздное вещество — яркие облака в созвездии Орион и тёмные облака на фоне Млечного Пути. Но лишь телескоп помог нам изучить природу этих объектов. Яркие точки планет оказались удивительными, не похожими на Землю мирами. Бледные точки звёзд оказались гигантскими монстрами, испускающими невероятную энергию. Без телескопа Вселенная выглядит почти неизменной, а телескоп показал нам живую, бушующую Вселенную.

Уже четыре века учёные используют телескопы для изучения космоса и микроскопы для изучения микромира. Эти приборы постоянно совершенствуются, и они уже не похожи на своих предков. В эпоху Галилея и Левенгука учёный мог держать телескоп или микроскоп одной рукой. В наши дни приборы для проникновения в даль про-

странства и в глубь вещества весят тысячи тонн, но предназначение у них прежнее — раздвигать горизонты наших представлений о природе. И вот как стремительно это происходит (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Предельные измеренные расстояния и их диапазон

Наука	Исторический период						
	до XVII в.	1650 г.	1840 г.	1910 г.	1960 г.	1990 г.	2020 г.
Астрономия	$4 \cdot 10^5$ км $\approx 10^{11}$ см	10 а.е. $\approx 10^{14}$ см	3 пк $= 10^{19}$ см	1 Мпк $\approx 10^{24}$ см	100 Мпк $\approx 10^{26}$ см	3000 Мпк $\approx 10^{28}$ см	4300 Мпк $\approx 10^{28}$ см
Физика	0,1 мм	1 мкм	10^{-8} см	10^{-12} см	10^{-13} см	10^{-15} см	10^{-16} см
Диапазон	10^{13}	10^{18}	10^{27}	10^{36}	10^{39}	10^{43}	10^{44}

Астрономы постоянно расширяют границы наблюдаемой Вселенной, а физики настойчиво углубляются в микромир. Впрочем, стремительное продвижение вширь и вглубь вовсе не означает, что природа в этом диапазоне уже детально изучена. Астрономы рванули к границам Вселенной, а физики погрузились в недра атома, оставляя в тылу нерешённые вопросы. Но тактика любого наступления гласит: если авангард умчался вперёд, а обозы за ним не успевают, значит, будут проблемы. Сегодня две такие проблемы стоят перед астрономами и физиками. В области микромира — это проблема тёмного вещества, которое также называют тёмной материей (англ. *dark matter*). А в области наибольших масштабов пространства — это проблема тёмной энергии (англ. *dark energy*).

2.2. ТЁМНОЕ ВЕЩЕСТВО И ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Наука похожа на детективное расследование: природа постоянно преподносит нам загадки, а учёные пытаются их разгадать. Порой на это уходят многие годы. Сейчас перед астрономами и физиками стоит очень серьёзная задача: понять, из чего состоит наш мир. Еще недавно казалось, что мы это знаем: из химических элементов таблицы Менделеева, из протонов, нейтронов и электронов. Именно они представляют то вещество, из которого сложены планеты и звёзды, животные и растения, в общем, всё, что нас окружает. Но астрономы определили, что это обычное вещество составляет лишь малую долю того, чем заполнена Вселенная.

Выяснилось это при исследовании движения звёзд и галактик. Дело в том, что разные частицы вещества обладают разными типами взаимодействия. Например, состоящие из кварков протоны и нейтроны

испытывают *сильное ядерное взаимодействие*, которое на малых расстояниях заставляет их притягиваться друг к другу; поэтому существуют ядра разных химических элементов. На расстояниях, значительно меньших размера ядра, проявляется *слабое ядерное взаимодействие*, которое испытывают все элементарные частицы. Оно, например, ответственно за радиоактивный распад ядер. Оба ядерных взаимодействия чрезвычайно короткодействующие, и за пределом атомного ядра они неощутимы.

Помимо ядерных взаимодействий, физикам знакомы электромагнитные и гравитационные силы, действие которых распространяется на любые расстояния.

Электромагнитным взаимодействием обладают частицы с электрическим зарядом, например, электроны и протоны. Их взаимное притяжение обеспечивает существование атомов и молекул, а их движение (особенно лёгких электронов) приводит к излучению и поглощению света и других электромагнитных волн. Благодаря «дальнодействию» электромагнитных сил мы можем видеть космические объекты на любых расстояниях. Однако в любом крупном теле количество протонов практически равно количеству электронов, поэтому такие тела не испытывают электрического притяжения или отталкивания.

Единственная сила, ощутимо действующая на больших расстояниях, — это гравитация. Все виды материи — и вещество, и поля — испытывают гравитационное взаимодействие, т.е. обладают взаимным притяжением. И это притяжение ничем не уравновешивается, поскольку гравитационного отталкивания не существует. Именно поэтому в космосе правит гравитация, которая скрепляет тела звёзд и планет, искривляет их орбиты и удерживает их в пределах планетных и звёздных систем, например в галактиках.

Наблюдая орбитальное движение планет Солнечной системы, астрономы определили, с какой силой их притягивает Солнце, и таким образом узнали его массу. Так же точно, наблюдая за движением звёзд и межзвёздного газа в нашей Галактике, астрономы определили её массу, и она оказалась в несколько раз больше совокупной массы всех её звёзд, планет и прочего видимого вещества. Так ученые узнали о существовании в Галактике огромного количества невидимого вещества, которое называют скрытой массой, тёмным веществом, тёмной материей или небарионным веществом (т.е. веществом, состоящим не из протонов и нейтронов, для которых в физике есть общее название — барионы).

Изучая движение звёзд и газа в других галактиках, астрономы обнаружили, что тёмное вещество в большом количестве есть не только в нашей, но и практически в любой другой галактике, а также в пространстве между ними. Физики уже несколько десятилетий пытаются

разгадать природу этого тёмного вещества и создают приборы, которые помогли бы поймать его и изучить. Но пока это не удалось.

Ещё более загадочным выглядит открытие астрономов, сделанное в конце XX в. при изучении движения самих галактик. Уже около 100 лет известно, что галактики и их скопления удаляются друг от друга, астрономы называют это «расширение Вселенной». Долгие годы бытовало убеждение, что это расширение должно постепенно замедляться под действием взаимного притяжения галактик. Однако измерения показали, что в последние несколько миллиардов лет скорость удаления галактик возрастала, т.е. Вселенная расширяется с ускорением. Это похоже на то, как если бы какая-то сила расталкивала галактики, преодолевая их взаимное гравитационное притяжение. Природу этой «антигравитационной» силы физики пока не понимают и условно называют ее тёмной энергией. По своему вкладу в среднюю плотность энергии/массы Вселенной тёмная энергия заметно превосходит суммарную плотность обычного и тёмного вещества.

В заключительных разделах этого курса мы детальнее обсудим проблему тёмного вещества и тёмной энергии.

2.3. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ

Всё во Вселенной постоянно меняется, всё имеет своё начало и конец. Время, за которое происходит заметное изменение, зависит от масштаба системы: от её размера, массы и внутренней структуры. Например, развитие зелёного ростка на грядке легко заметить за несколько дней; рост молодого человека — за год; изменение русла реки — за столетие; разрушение горного массива — за тысячи лет. Для формирования звезды и планетной системы требуются миллионы лет, а для заметных изменений в масштабе галактики — миллиарды лет. Но если за ростом травинки и возмужанием человека учёный может проследить путём личного наблюдения, то за формированием звезды или столкновением галактик не смогут проследить не только отдельные учёные, но и многие их поколения. Как же мы изучаем эти длительные процессы?

Это удаётся сделать путём наблюдения однотипных объектов разного возраста. Например, наблюдая большую человеческую семью, можно сразу увидеть младенцев, подростков, взрослых и постаревших людей и попытаться выстроить эволюционную последовательность человека. Зайдя в лес, можно быстро обнаружить семена, ростки и взрослые деревья и попытаться выстроить их эволюционную последовательность. Примерно так же астрономы изучают рождение и раз-

витие планет, звёзд и галактик, наблюдая эти объекты в состоянии разного возраста. В этом учёным помогают математические модели, описывающие структуру и эволюцию космических тел на основе законов физики. Модели сравниваются с наблюдениями и корректируются, чтобы точнее соответствовать реальности.

По сравнению с другими науками у астрономии есть одно замечательное преимущество: чем дальше от нас объект, тем в более далёком прошлом мы его видим. От ближайших звёзд свет идёт к нам годы, а от самых далёких звёзд, видимых невооружённым глазом, — сотни и даже тысячи лет. От ближайших галактик свет идёт сотни тысяч и миллионы лет, а от самых далёких — более 10 млрд лет! Поэтому астрономы видят прошлое Вселенной, и это значительно облегчает изучение её истории.

К сегодняшнему дню учёные выяснили, что Вселенная существенно изменилась за прошедшие почти 14 млрд лет. В далёком прошлом не было ни звёзд, ни планет. Всё вещество Вселенной было очень плотным, горячим и почти однородным газом. При этом он стремительно расширялся и остывал. По своему химическому составу этот газ на $3/4$ состоял из водорода и на $1/4$ из гелия; более сложных элементов в нём практически не было. Давление в первичном газе постепенно снижалось, и гравитация начала противодействовать расширению наиболее плотных его частей; со временем их расширение остановилось и началось сжатие. В ту эпоху антигравитационное влияние тёмной материи было несущественным, поскольку средняя плотность вещества была ещё велика и его гравитация была значительна.

Сжатие плотных частей первичного газа привело к рождению первых галактик и звёзд. В результате эволюции этих звёзд из водорода и гелия образовались сложные химические элементы, позволившие сформироваться планетам и возникнуть жизни на них. Так в самом общем виде мы представляем сейчас эволюцию Вселенной. Но в этой картине ещё много неясного, и самая главная загадка: как всё началось, как родилась Вселенная?

В заключительных разделах этого курса мы детальнее обсудим эти вопросы.

ТЕСТЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

2.1. Можно ли невооружённым глазом заметить галактику на ночном небе?

- а) можно;
- б) нельзя;
- в) можно, но только нашу галактику — Млечный Путь.

2.2. Физики или астрономы в большей степени расширили границы изученного мира с XVII по XXI в.? См. табл. 2.1.

- а) физики;
- б) астрономы;
- в) в равной степени.

2.3. Какая сила обеспечивает существование ядер химических элементов?

- а) гравитационная;
- б) слабая ядерная;
- в) сильная ядерная.

2.4. Тёмное вещество — это...

- а) невидимый источник гравитации в галактиках и вокруг них;
- б) холодное межпланетное вещество (кометы и астероиды);
- в) газово-пылевое вещество тёмных межзвёздных облаков.