

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Братский государственный университет»

Ким Де Чан
Д.И. Левит
О.И. Медведева

Естественнонаучная картина мира

Учебное пособие

Братск 2021

Ким Де Чан, Левит Д.И., Медведева О.И. Естественнаучная картина мира: учебное пособие.– Братск: Изд-во БрГУ, 2021. – 220 с.

В данном учебном пособии представлена «Естественнаучная картина мира» (ЕНКМ), смысл которой заключается в формировании представлений о целостности природы, получении знаний о современной естественнаучной картине мира и методах естественных наук, знакомстве с наиболее важными идеями и достижениями естествознания, оказавшими влияние на наши представления об окружающем мире.

Пособие состоит из семи глав, разделённых по следующим разделам: введение, две культуры и научный метод, механическая картина мира, электромагнитная картина мира, квантово-полевая картина мира, концептуальный уровень современной химии и естественнаучные аспекты экологии и концепции происхождения жизни.

Данное пособие предназначено для студентов гуманитарно-педагогическим и экологическим направлениям, направлению подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы / профиль: Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование (дневная и заочная формы обучения) и преподавателям высших учебных заведений, а также всем интересующимся историей науки и проблемами современного научного знания.

Рецензенты:

Д-р физ.-мат., профессор Иркутского государственного университета А.Т. Афанасьев.

Оглавление

Введение			
Глава 1	Две культуры. Научный метод.....		
	1.1	Гуманитарная и естественнонаучная культура...	
	1.2	Научный метод.....	
		1.2.1 Понятие метода и методологии.....	
		1.2.2 Общенаучные методы эмпирического познания. Наблюдение, эксперимент и измерение..	
		1.2.3 Общенаучные методы теоретического познания. Абстрагирование, идеализация и мысленный эксперимент.....	
		1.2.4 Формализация, индукция и дедукция	
		1.2.5 Общенаучные методы, применяемые на эмпирических и теоретических уровнях познания. Анализ и синтез, аналогия и моделирование	
Глава 2	Механическая картина мира. Элементы классической механики и термодинамики		
	2.1	Введение. Предмет изучения физики	
	2.2	Основные характеристики кинематики	
	2.3	Законы Ньютона	
	2.4	Законы сохранения	
		2.4.1 Сохраняющиеся величины	
		2.4.2 Закон сохранения импульса	
		2.4.3 Энергия. Закон сохранения механической энергии	
	2.5	Элементы специальной теории относительности	
		2.5.1 Принцип относительности и преобразования Галилея	
		2.5.2 Следствия преобразования Галилея	
		2.5.3 Принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца	
		2.5.4 Пространство и время в СТО. Относительность одновременности	
		2.5.5 Взаимосвязь массы и энергии покоя	

		2.5.6 Понятие общей теории относительности	
	2.6	Термодинамика	
		2.6.1 Термодинамические системы и параметры	
		2.6.2 Внутренняя энергия, количество теплоты. Первое и второе начал термодинамики	
		2.6.3 Цикл Карно. КПД цикла Карно	
		2.6.4 Понятие энтропии	
		2.6.5 Пределы применимости второго начала термодинамики. Критика теории «Тепловой смерти вселенной».	
		2.6.6. Термодинамика неравновесных систем. Синергетика	
		2.6.7 Синергетика. Рождение порядка из хаоса	
		2.6.8 Самоорганизация в живой и неживой природе	
Глава 3		Электромагнитная картина мира	
	3.1	Электрический заряд. Закон Кулона	
	3.2	Электрическое поле. Напряженность и силовые линии электрического поля	
	3.3	Электрический потенциал. Разность потенциалов	
	3.4	Постоянный электрический ток	
		3.4.1 Сила тока, плотность тока. Условия существования тока	
		3.4.2 Закон Ома. Электрическое сопротивление	
	3.5	Постоянное магнитное поле	
		3.5.1 Опыты Ампера и Эрстеда. Магнитная индукция	
		3.5.2 Сила Ампера и сила Лоренца. Эффект Холла	
	3.6	Электромагнитные явления	
		3.6.1 Опыты Фарадея. Явление электромагнитной индукции	
	3.7	Электромагнитные волны	
		3.7.1 Уравнения электромагнитных волн. Опыты	

		Герца. Энергия электромагнитных волн	
		3.7.2 Шкала электромагнитных волн	
Глава 4	Квантово-полевая картина мира		
	4.1	Место квантовой механики среди других наук	
	4.2	История создания квантовой механики	
	4.3	Физические основы квантовой механики	
		4.3.1 Принцип суперпозиции состояний	
		4.3.2 Принцип соответствия	
	4.4	Выводы квантово-полевой картины мира	
	4.5	Элементы ядерной физики	
		4.5.1 Атомное ядро	
		4.5.2 Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Деление ядер	
		4.5.3 Ядерные реакторы и атомная электростанция	
		4.5.4 Термоядерные реакции (синтез). Проблема управляемого термоядерного синтеза	
		4.5.5 Проблема управляемого термоядерного синтеза	
	4.6	Вселенная	
		4.6.1 История Вселенной	
		4.6.2 Теория возникновения Вселенной	
		4.6.3 Плотность реликтового излучения. Темная материя	
		4.6.4 Некоторые характеристики элементов Вселенной: Солнце, солнечная система. Галактики	
		4.6.5 Черные дыры. Квазары	
		4.6.6 Крупномасштабная структура Вселенной	
		4.6.7 Эволюция Вселенной	
Глава 5	Концептуальные уровни современной химии		
	5.1	Ионная связь	
	5.2	Ковалентная связь	

	5.3	Молекулярные орбитали	
		5.3.1 Связывающие орбитали	
		5.3.2 Несвязывающие орбитали	
	5.4	Гибридные атомные орбитали	
	5.5	Координационная связь	
	5.6	Металлическая связь	
	5.7	Фундаментальные основы химии	
	5.8	Периодический закон Д.И.Менделеева	
	5.9	Современная формулировка стехиометрических законов	
	5.10	Химические элементы в организме человека	
Глава 6	Естественнонаучные аспекты экологии		
	6.1	Предмет экологии	
	6.2	Социальная экология	
	6.3	Глобальные экологические проблемы современности	
	6.4	Глобальные экологические проблемы: перспективы развития и решения	
		6.4.1 Загрязнение атмосферы	
		6.4.2 Обеднение озонового слоя	
		6.4.3 Загрязнение воды	
		6.4.4 Уничтожение лесных богатств Земли	
		6.4.5 Эрозия почвы и потеря плодородных земель	
	6.5	Экологические проблемы энергетики	
		6.5.1. Экологические проблемы тепловой энергетики	
		6.5.2. Экологические проблемы гидроэнергетики	
		6.5.3. Экологические проблемы ядерной энергетики	
Глава 7	Концепции происхождения жизни		

	7.1	Гипотезы о происхождении жизни на Земле	
	7.2	Ранние представления о происхождении жизни	
	7.3	Гипотеза самозарождения	
	7.4	Гипотеза панспермии	
	7.5	Гипотеза Опарина–Юри	
	7.6	Земля в период зарождения жизни	
	7.7	Возникновение жизни в глубинах гидротермальных систем	
	7.8	Критерии обитаемости планет	
		7.8.1 Влияние температуры и давления	
		7.8.2 Влияние атмосферы	

ВВЕДЕНИЕ

Естественнонаучная картина мира – это система важнейших принципов и законов, лежащих в основе функционирования и развития *мира-Природы*, проверенные и доказанные представления об устройстве мира.

Цель курса «Естественнонаучная картина мира» (ЕНКМ) – формирование представлений о целостности природы, получение знаний о современной естественнонаучной картине мира и методах естественных наук, знакомство с наиболее важными идеями и достижениями естествознания, оказавшими влияние на наши представления об окружающем мире.

Развитие естественных наук за последние три – четыре столетия, и особенно в двадцатом веке, привело к такому феномену, как научно-техническая революция (НТР), которая повлекла за собой бурное развитие техники и технологий. Среди естественнонаучных направлений, в значительной степени определивших наступление НТР, были атомная физика и молекулярная биология.

С наступлением двадцать первого века бурное развитие информационных и компьютерных технологий (ИКТ) связывают с наступлением четвертой промышленной революции. Применение ИКТ в производстве изменило основы индустрии и привлекло широкомасштабному внедрению комплекса прорывных нано-био-информационных (НБИК) технологий в производственной сфере.

В разные исторические эпохи по мере развития науки менялись представления об устройстве мира. В данном учебном пособии мы рассмотрим основные естественнонаучные концепции, принципы, теории, их взаимосвязь и взаимовлияние, которые сформировались в течение последних трех – четырех столетий и легли в основу современного естествознания.

Курс ЕНКМ в течение ряда лет читается студентам гуманитарно-педагогического факультета Братского государственного университета:

44.03.02 направление подготовки «Психолог - педагогическое образование» / профиль Психология образования (все формы обучения);

44.03.01 направление подготовки «Педагогическое образование» / профиль Право (дневная и заочная формы обучения);

44.03.01 направление подготовки «Педагогическое образование» / профиль История (дневная форма обучения);

44.03.01 направление подготовки «Педагогическое образование» / профиль: Дошкольное образование (заочная форма обучения).

Также этот курс можно использовать при подготовке к занятиям по дисциплине (по выбору) «Концепции современного естествознания», которая включена в учебные планы следующих направлений и специальностей:

05.03.06 направление подготовки «Экология и природопользование» / профиль Экология (очная форма обучения);

44.05.01 специальность «Педагогика и психология девиантного поведения» / квалификация Социальный педагог (очная форма обучения);

23.03.02 направление подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы/профиль: Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование (дневная и заочная формы обучения).

Основными задачами курса ЕНКМ, читаемого студентам гуманитарно-педагогического факультета, являются

– формирование убежденности в диалектическом единстве и целостности мира, несмотря на внешнее многообразие его форм;

– ознакомление с наиболее общими законами, концепциями, адекватно описывающими природные явления внутри каждого иерархического уровня, с историей и логикой развития естественных наук.

При успешном освоении данного курса обучающиеся должны обладать следующими **компетенциями**:

– способностью использовать естественнонаучные и математические знания для ориентирования в современном информационном пространстве;

– способностью к самоорганизации и самообразованию;

– готовностью к взаимодействию с участниками образовательного процесса.

Итак, в результате освоения дисциплины ЕНКМ обучающийся должен

знать:

– основные естественнонаучные законы, составляющие фундамент современной техники и технологий;

– методы исследования в разных областях естествознания;

уметь:

– объяснять основные наблюдаемые природные и техногенные явления с позиций фундаментальных естественнонаучных законов;

– самостоятельно пополнять свои знания в области современных проблем науки и техники с использованием современных образовательных и информационных технологий;

– анализировать полученную информацию в области современных проблем науки и техники и в доступной форме изложить ее участникам образовательного процесса;

владеть:

– математической и естественнонаучной культурой, как частью профессиональной и общечеловеческой культуры;

– культурой общения, учитывая возрастные, психофизические и индивидуальные особенности участников образовательного процесса.

Пособие состоит из семи глав, разделённых по следующим разделам: введение, две культуры и научный метод, механическая картина мира, электромагнитная картина мира, квантово-полевая картина мира, концептуальный уровень современной химии и естественнонаучные аспекты экологии и концепции происхождения жизни.

В первой главе рассмотрены культура- как научная категория, охватывающая собой область творческой деятельности человека, вне зависимости от того, в какой сфере жизнедеятельности это творчество осуществляется, а также понятие метода и методологии.

Вторая глава посвящена к изучению механической картины мира, в которой рассмотрены элементы классической механики и термодинамики.

Изучение основных понятий электрического и магнитного полей, электрического тока и электромагнитных явлений посвящается третья глава.

В четвёртой главе рассмотрена квантово-полевая картина мира, в которой описаны историю создания и место квантовой механики сре-

ди других наук. Также рассмотрены элементы ядерной физики, радиоактивность и атомная энергетика, история возникновения и современная концепция Вселенной и эволюция Вселенной.

В концептуальных уровнях современной химии описаны основные понятия химических связей, фундаментальные основы химии, периодический закон Д.И.Менделеева и химические элементы в организме человека, которые даны в пятой главе.

В шестой главе рассмотрены естественнонаучные аспекты экологии. В ней рассмотрены глобальные экологические проблемы современности, предмет экологии, экологические проблемы ядерной, гидроэнергетики и тепловой энергетики.

В главе 7 «Концепции происхождения жизни» представлены гипотезы о происхождении жизни на Земле, Земля в период зарождения жизни и возникновение жизни в глубинах гидротермальных систем. Кроме того изложены критерии обитаемости планет.

Данное пособие предназначено для студентов и преподавателей высших учебных заведений, а также всех интересующихся историей науки и проблемами современного научного знания.

ГЛАВА 1. Две культуры. Научный метод

1.1. Гуманитарная и естественнонаучная культура

В мае 1959 года в Кембриджском университете известный английский писатель и ученый Чарлз Сноу прочитал лекцию «Две культуры и научная революция», которая вызвала продолжительную и острую дискуссию среди разных слоев интеллигенции многих стран.

Главная суть лекции сводилась к утверждению того, что между традиционной гуманитарной культурой западной Европы и новой, так называемой «научной культурой (НК)», производной от НТП (научно-технического прогресса XX в.), растет катастрофический разрыв с каждым годом.

В результате расширяющегося взаимопонимания между учеными и литературными интеллектуалами, переживающими трагедию отчуждения в современном мире, все более возрастает их прямая враждебность. Поэтому Сноу заявил, что все мы одиноки. «Любовь, сильные привязанности, творческие порывы иногда позволяют нам забыть

об одиночестве, но эти триумфы-лишь светлые оазисы, созданные нашими собственными руками, конец же пути всегда обрывается во мраке: каждый встречает смерть один на один».

Более того, вражда двух культур, по мнению Сноу, может вообще привести к гибели человеческой культуры, если не принять радикальных мер для реорганизации образовательной системы. В частности мер, дающих возможность сблизиться страдающим от излишнего практицизма физикам и проникнутым антиобщественными настроениями индивидуалистами-интеллектуалами. Так ли?

Культура - это проявление творческого начала в человеческой личности, раскрытие ее возможностей, ее общественной значимости, синтез ее способностей и функций.

Вот почему сближение науки и гуманитарных областей человеческой деятельности не только естественно, но и объективно закономерно, т.к. в их основе лежит единое начало-творчество.

При рассмотрении культуры как научной категории, охватывающей собой область творческой деятельности человека, вне зависимости от того, в какой сфере жизнедеятельности это творчество осуществляется, культура противопоставляется с такой человеческой деятельностью, которая носит сугубо нетворческий, исполнительский характер. Культура, понимаемая как творчество, включает в себя не только предметные результаты творческой деятельности (научные, технические знания, произведения литературы и искусства, нормы права и морали и т.д.), но и те субъективные человеческие силы и способности, благодаря которым и возможна творческая деятельность человека.

Наука есть сфера человеческой деятельности, функция которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о деятельности; это одна из форм общественного сознания; включает как деятельность по получению нового знания, так и ее результат, т.е. сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира. Цели науки-описание, объяснение и предсказание процессов и явлений деятельности, составляющих предмет ее изучения, на основе открываемых законов. Каждый, кто хочет понять или попытаться изменить мир, в котором он живет, не может обойтись без науки вообще и научных основ современной техники в частности. Зародившись в древнем мире в связи с потребностями общественной политики, наука

начала складываться с XVI- XVII- в.в. В ходе исторического развития наука превратилась в производственную силу и важнейший социальный институт, оказывающий значительное влияние на все сферы человеческого общества и культуру в целом. Так возникли концепции современного естествознания.

1.2. Научный метод

1.2.1. Понятие метода и методологии

Метод- это совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения деятельности. Метод вооружает человека системой принципов, требований, правил. Руководствуясь ими, он может достичь намеченной цели. Для человека владение метода означает знание того, в какой последовательности нужно совершать те или иные действия для решения тех или иных задач, и умение применять это знание на практике. Существует целая область знаний, которая специально занимается изучением методов и которую **называют методологией.**

Методология-это учение о методах. Методология вырабатывает методы осуществления деятельности человека. Задачей методологии является изучение происхождения, сущности, эффективности и других характеристик методов познания.

Методы научного познания подразделяются на всеобщие и общенаучные. Всеобщие методы являются общеполитическими, которые в свою очередь подразделяются на **диалектический и метафизический.**

Общенаучные методы используют в самых различных областях науки и имеют весьма широкий, междисциплинарный спектр применения. Классификация общенаучных методов тесно связана с понятием уровня научного познания.

Различают три уровня научного познания: **эмпирический, теоретический и частнонаучный.** Одни общенаучные методы применяются только на эмпирическом уровне (наблюдение, эксперимент, измерение), а другие – только на теоретическом (идеализация, формализация), а некоторые (моделирование и др.) – как на эмпирическом, так и на теоретическом.

1. **Эмпирический уровень** научного познания характеризуется непосредственным исследованием реально существующих, воспринимаемых объектов. На этом уровне осуществляется накопление информации об исследуемых объектах, явлениях, путем проведения наблюдений, выполнения разнообразных измерений, постановки экспериментов. Производится также первичная систематизация получаемых результатов в виде таблиц, схем, графиков и т.п. Затем, как следствие обобщения научных фактов – возможно формулирование некоторых эмпирических закономерностей.

2. **Теоретический уровень** научного познания осуществляется на логической рациональной ступени развития. На данном уровне происходит раскрытие глубоких связей, закономерностей. Теоретический уровень – высокая ступень в научном познании. Результатами теоретического познания становятся гипотезы, теории, законы, постулаты и т.д. Эмпирические и теоретические уровни познания взаимосвязаны между собой и нельзя их противопоставлять, рассматривать в отрыве. Гипотезы, теории, законы формулируются в процессе осмысления научных фактов. В свою очередь эмпирический уровень научного познания не может существовать без достижений теории. Она опирается на теорию.

3. **Частнонаучный метод** – метод, используемый только в рамках исследований какой – то науки или какого – то конкретного явления. Например, биология, геология, химия и т.д. Каждая частная наука имеет свои специфические методы исследования. В частнонаучных методах присутствуют наблюдения, измерения, индуктивные и дедуктивные умозаключения и др. Частнонаучные методы связаны всеобщими и общенаучными методами. Без них невозможно их использовать.

Любой метод сам по себе еще не предопределяет успеха в познании тех или иных явлений. Важно еще умение правильно применять научный метод в процессе познания.

1.2.2. Общенаучные методы эмпирического познания. Наблюдение, эксперимент и измерение

Наблюдение - это есть чувственное отражение предметов и явлений внешнего мира и исходный метод эмпирического познания, позволяющий получить некоторую первичную информацию об объектах.

Научное наблюдение (в отличие от обыденного) характеризуется рядом особенностей:

- **целенаправленностью** (наблюдение должно вестись для решения поставленной задачи исследования, а внимания наблюдателя фиксироваться только на явлениях, связанных с данной задачей);

- **планомерностью** (наблюдение должно проводиться строго по плану);

- **активностью** (исследователь должен активно искать, выделять нужные ему моменты в наблюдаемом явлении, привлекая для этого).

Научные наблюдения всегда сопровождается описанием объекта познания. Описания результатов наблюдений образуют эмпирический базис науки, сравнивают изучаемые объекты по тем или иным параметрам, приводят классификацию их по каким-то свойствам, характеристикам. Каждая наука проходит указанную первоначальную описательную стадию развития. Описание должно давать достоверную и адекватную картину самого объекта, точно отображать изучаемые явления.

По способу проведения наблюдения могут быть **непосредственными и опосредованными**. При непосредственных наблюдениях те или иные свойства стороны объекта отражаются, воспринимаются органами чувств человека.

Например, непосредственные наблюдения положения звезд и планет на небе привели к открытию законов Кеплера и т.д. Непосредственное визуальное наблюдение используется в широкой области науки и техники, например, в космических исследованиях.

Конкретно, исследование параметров атмосферы, поверхности суши и океанов. Из космоса (с орбиты спутника) можно определить границы облачного покрова, типы облаков, границы выноса мутных речных вод в море, определить характеристики океанических вихрей, различать типы планктонов и др.

Хотя непосредственное наблюдение играет немаловажную роль в науке, однако чаще всего научное наблюдение проводится с использованием тех или иных технических средств. Такое наблюдение называ-

ется **опосредованным**. Опосредованное наблюдение расширяет возможность метода и границы наблюдений, кругозор мира.

Например, создание оптического телескопа дало открытие новых галактик, планет солнечной системы, спутников планет и др. С помощью рентгеновских телескопов можно проводить наблюдения за объектами Вселенной (пульсары, квазары, черные дыры и др.).

Электронный микроскоп позволяет наблюдать объекты микромира. Левенгук создал первый микроскоп, с помощью которого открыл микробы в воде.

В современном естествознании важную роль играет косвенное наблюдение. Например, в ядерной физике не возможно прямо наблюдать объекты и явления (ядерную реакцию, элементарные частицы, кварки и др.). При изучении свойств заряженных частиц с помощью камеры Вильсона частицы воспринимаются исследователем косвенно – образованием треков (следы паров жидкости).

Косвенные наблюдения обязательно основываются на некоторых теоретических положениях, устанавливающих определенную связь между наблюдаемыми и ненаблюдаемыми явлениями.

Наблюдения могут нередко играть важную эвристическую роль в научном познании. В процессе наблюдений могут быть открыты совершенно новые явления, позволяющие обосновать ту или иную научную гипотезу (открытие черных и др.). Например, эффекты Мессбауэра, Комптона и др.

Участники экспедиции в космосе на станции «Салют – 6» вели наблюдения Мирового океана, в результате которого были обнаружены так называемые синоптические образования в океане, размеры и цвет которых бывают различными. Некоторые из них имеют зеленоватую окраску, что характеризует подъем глубинных вод к поверхности, другие отличаются голубой окраской – вода с поверхности уходит в глубину. Эти наблюдения подтвердили гипотезу академика Г. Марчука, согласно которой в Мировом океане есть энергоактивные зоны, являющиеся генераторами погоды. Над такими аномалиями и начинается формирование циклонов. Для получения выводов об исследуемом явлении, для обнаружения чего-то существенного в нем зачастую требуется проведение большого числа наблюдений. Например, прогноз погоды и др. Из вышесказанного следует, что наблюдение является важным методом эмпирического познания.

Другим важным методом исследований является эксперимент.

Эксперимент – это более сложный метод эмпирического познания по сравнению наблюдения. Он предполагает активное, целенаправленное и строго контролируемое воздействие исследователя на изучаемый объект.

При этом экспериментатор может преобразовывать исследуемый объект, создавать искусственные условия изучения объекта, вмешиваться в естественное течение процессов.

Эксперимент включает в себя **наблюдения и измерения**. Он обладает рядом важных, присущих только ему особенностей. Во-первых, эксперимент позволяет изучать объект в «очищенном» виде, устранять всякого рода побочных факторов, наслаения, затрудняющих процессов исследования. Например, эффект Керра и др. Во-вторых, в ходе эксперимента объект может быть поставлен в некоторые искусственные, экстремальные условия, например, изучения при сверхнизких температурах, высоких давлениях или в вакууме и т.д. В таких искусственно созданных условиях удастся обнаружить удивительные, неожиданные свойства объектов (сверхпроводимость, сверхтекучесть). В-третьих, изучая какой-либо процесс, экспериментатор может вмешиваться в него, активно влиять на его протекания (химический катализ). В-четвертых - воспроизводимость. Это означает, что при условии эксперимента, измерения могут быть повторены столько раз, сколько это необходимо для получения достоверных результатов.

Подготовка и проведение эксперимента требуют соблюдения ряда условий.

Научный эксперимент:

- никогда не ставится наобум. Он предполагает наличие четко сформулированной цели исследования;
- не делается вслепую. Он всегда базируется на исходных теоретических положениях;
- не проводится беспланоно, хаотически;
- требует определенного уровня развития технических средств познания;
- должен проводиться людьми, имеющими высокую квалификацию, специалистами в этой области. Совокупность всех этих условий определяет успех в экспериментальных исследованиях.

В зависимости от характера проблем, решаемых в ходе экспериментов, последние обычно подразделяются на **исследовательские и проверочные**.

Исследовательские эксперименты дают возможность обнаружить у объекта новые, неизвестные свойства. Результатом такого эксперимента могут быть выводы, законы, не вытекающие из имеющихся знаний. Например, эксперимент Резерфорда по отклонению альфа-частицы, при котором некоторые альфа-частицы отклонялись на угол 180 градусов.

На основании данного эксперимента Резерфорд создал ядерную модель атома.

Проверочные эксперименты служат для проверки, подтверждения тех или иных теоретических моделей. Например, открытие частицы пи-мезона, предсказанного японским физиком Юкава для объяснения природы ядерных сил. Опыт Франка – Герца, подтверждающий существования дискретных, стационарных орбит в атоме, предсказанных Н. Бором.

Для познания микромира потребовало проведение экспериментальных исследований, в которых нельзя было пренебречь воздействием прибора на объект познания (квантовый эффект). В квантовой механике эксперимент играет иную роль в отличие от классической. Так, при взаимодействии микрочастицы с измеряемым прибором, прибор сильнее воздействует на микрочастицу, чем на макрообъект.

Эксперименты разделяются на качественные и количественные.

Качественные эксперименты носят поисковый характер и не приводят к получению каких-либо количественных соотношений. Они позволяют выявить действие тех или иных факторов на изучаемое явление. Например, опыты Рикке, Толмена и Стюарта, в которых установлены носители электрического тока-электроны.

Количественные эксперименты направлены на установление точных зависимостей в исследуемых явлениях. Например, опыт эффекта Комптона устанавливает количественную связь между изменением длины волн, рассеянных на легких атомах рентгеновских лучей, от угла рассеяния.

В зависимости от области научного познания различают естественнонаучный (фундаментальный), прикладной и социально-экономический эксперименты. Опыты Фарадея по электромагнитной

индукции привели к созданию электрической станции, вырабатывающей электроэнергию, а по электролизу- в гальванотехнике, в цветной металлургии для получения цветных металлов (алюминиевой и медной промышленности и др.).

Экспериментальное открытие Герцем электромагнитных волн использовано в радиоэлектронной промышленности и др. При рассмотрении любого экспериментального метода нужно учесть планирование эксперимента.

Большинство научных экспериментов и наблюдений включает в себе проведение разнообразных измерений.

Измерение – это экспериментальное определение значения измеряемой величины с применением средств измерений. Конечный результат измерения выражается числом или совокупностью чисел, именованных или неименованных в зависимости от того, размерной или безразмерной является измеряемая величина (например, безразмерная величина-магнитная проницаемость и размерная-сила тока и др.). **Измеряемая величина** – это свойство материального объекта или параметр объекта.

Измерение – это есть процесс отражения «размера» объекта на числовую ось и служит основным инструментом познания материального мира, так как обеспечивает сравнение результатов теоретических исследований объектов с результатами экспериментальных исследований. Важнейшая особенность измерения – **это принципиальная невозможность** получения результатов измерения в точности равных истинному значению измеряемой величины. Это связано с тем, что любой измерительный прибор обладает погрешностью и поэтому для определения степени близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины нужно оценивать погрешность измерения. При подготовке к измерению методику и средства измерения выбирают так, чтобы погрешность измерения была минимальной для данного исследования.

Измерения классифицируются по признакам: прямые и косвенные, статистические и динамические, по виду измеряемой величины: на измерения механических, электрических, тепловых и др.

Прямые измерения – это измерения физической величины объекта с помощью измерительных приборов. Например, линейка, амперметр, вольтметр, весы и др.

Косвенные измерения – это измеряемая физическая величина определяется путем расчета по формуле, выражающей функциональной зависимостью измеряемой величины с величинами прямых измерений. Например, плотность тела можно определить, зная массу и объем тела. При измерении наличие исследователя, проводящего измерения, не всегда является обязательным. Исследователь может и не принимать непосредственного участия в процессе измерения, если оно проводится автоматически с помощью информационно-измерительных приборов (ИИП). В качестве ИИП может быть использованы ЭВМ и др. ЭВМ обрабатывает полученные результаты измерения и выдает в виде числовых значений или графиков и др.

Результат измерения получается в виде некоторого числа единиц измерения физических величин (ЕФВ). ЕФВ – это эталон, с которым сравнивается измеряемая величина объекта, при этом эталону присваивается «1». Существует множество единиц измерения. Единицы измерения подразделяются на основные и производные. Так как в разных странах по мере развития науки и техники, торговли и др. размеры единиц измерения не совпадали, то потребовались унификации ее и создание систем единиц.

В связи с этим была создана Международная система единиц (СИ) в 1960 году. Для этой системы основными единицами является: метр (м)-единица длины; секунда (с) - время; килограмм (кг) - масса; кельвин (к) - температура; ампер (А) - сила тока; кандела (кд) - сила света.

Остальные единицы-производные, составленные из основных единиц (СИ). Например, механическая сила-ньютон (Н)=кг·м/с², энергия-Джоуль(Дж)=Н·м и др. С помощью специальной таблицы множителей и приставок можно образовывать кратные и дольные единицы. Например, 1мм=10⁻³ м; 1кг=1000г. Кроме того существует внесистемная единица измерения. Например, мощность в системе СИ - ватт(Вт), а внесистемная - лошадиная сила (л.с.) и др. Кроме того в физике используются естественные единицы. Их основные единицы определяются из законов природы. Например, в основу ЕФВ были предложены мировые постоянные: скорость света в вакууме (с), гравитационная постоянная (G), постоянная Планка (h), постоянная Больцмана (k). Используя эти постоянные, Планк получил ряд производных единиц.

1.2.3. Общенаучные методы теоретического познания.

Абстрагирование, идеализация и мысленный эксперимент

Процесс познания всегда начинается рассмотрения конкретных воспринимаемых предметов и явлений, их внешних признаков, свойств, связей. Только в результате изучения конкретного явления или объекта человек приходит к каким-то обобщенным представлениям, понятиям к тем или иным теоретическим положениям, т.е. к научным абстракциям.

В процессе абстрагирования происходит отход от конкретных объектов к абстрактным понятиям об объектах.

Абстрагирование - это мысленное отвлечение от каких-то менее существенных свойств, признаков изучаемого объекта.

Разделяются **абстракции отождествления и изолирующие**.

Абстракция отождествления представляет собой понятие, которое получается в результате отождествления некоторого множества предметов и объединения их в особую группу. Например, группировка множества растений и животных в особые виды, роды, отряды.

Изолирующая абстракция получается путем выделения некоторых свойств, неразрывно связанных с предметами материального мира, в самостоятельные сущности (например, растворимость, электропроводимость и др.). Переход от конкретного к абстрактному всегда связан с упрощением действительности.

При этом исследователь получает возможность понять глубже изучаемый объект, раскрыть его сущность. Например, в физике для изучения механических движений тел используют абстрактные понятия такие, как материальная точка, абсолютно твердое тело и др. На основании математической абстракции Максвелл создал теорию электромагнитного поля, формулированную словесно Фарадеем.

Из теории Максвелла следуют важные выводы: **изменение во времени электрического поля порождает переменное магнитное поле и наоборот**. Максвелл доказал существование электромагнитных волн, что свет представляет собой электромагнитные волны, распространяющиеся со скоростью $c=3 \cdot 10^8$ м/с, что волны переносят энергию, что свет оказывает давление на поверхность объекта.

Мыслительная деятельность человека в процессе научного познания включает в себя особый вид абстрагирования, который называется

идеализацией. **Идеализация** представляет собой мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследований.

В результате таких изменений могут быть исключены из рассмотрения какие-то свойства, признаки объектов. Например, идеальный газ-это теоретическая модель газа, в которой пренебрегают размерами и взаимодействием молекул газа и лишь учитывают их упругие столкновения. Поведение такого газа описывается законом Бойля-Мариотта или уравнением Менделеева-Клапейрона.

Изменение свойства объекта, достигаемое в процессе идеализации, может производиться также и путем наделения его каким-то особыми свойствами, неосуществимыми в реальной действительности. Например, абстракция абсолютно черного тела при изучении закона теплового излучения. Изучение теплового излучения привело к созданию совершенно новой теории - квантовой теории излучения, квантовой физики.

Всегда ли целесообразно использовать идеализацию в рассмотрении тех или иных свойств и явлений? Целесообразность использования идеализации определяется следующими обстоятельствами.

Во-первых, идеализация целесообразна тогда, когда подлежащие исследованию реальные объекты достаточно сложны и с помощью имеющихся средств теоретического и математического анализа невозможно объяснить явления. В этом случае идеализация позволяет построить и развить теорию, эффективно описывающую свойств и поведения реальных объектов.

Во-вторых, идеализация полезно использовать в тех случаях, когда необходимо исключить некоторые свойства исследуемого объекта, т.е. нужно рассматривать в «очищенном» виде (например, идеальная тепловая машина Карно и др.).

В-третьих, применение идеализации целесообразно тогда, когда исключаемые из рассмотрения свойств изучаемого объекта не влияет на его сущность в рамках данного исследования. Например, с помощью понятия материальной точки можно описать законы механического движения тела.

Наконец, характер идеализации может быть различным, если существуют разные теоретические подходы к изучению какого-либо явления. Например, идеальный газ Максвелла-Больцмана стал основой

исследований разреженных газов, идеальный газ Бозе-Эйнштейна использован для изучения фотонного газа, а газ Ферми-Дирака – для описания электронного газа.

Идеализация очень важна для реализации мысленного эксперимента, важного для теоретического познания свойств объектов.

Мысленный эксперимент – это мысленный подбор тех или иных положений, позволяющие обнаружить какие-то важные особенности исследуемого объекта. Всякий реальный эксперимент сначала проигрывается исследователем мысленно в процессе обдумывания, планирования. В этом случае мысленный эксперимент вступает в роли идеального плана реального эксперимента. Мысленный эксперимент может и играть самостоятельную роль в науке, хотя он отличается от реального. Например.

1) Реальный эксперимент оперирует на материальный объект, в то же время в мысленном эксперименте исследователь рассматривает умозрительно идеализированный образ, не материальный объект.

2) Возможность реального эксперимента определяется наличием материально-технической базы, финансовым обеспечением, что не всегда осуществима. В то же время мысленный эксперимент не требует такого обеспечения.

3) В реальном эксперименте приходится считаться с физическими ограничениями в поведении свойств объекта, а в ряде случаев - невозможностью устранить мешающие воздействия извне на эксперимент. Поэтому в реальном эксперименте наблюдается искажение результатов исследований. В мысленном эксперименте можно исключить нежелательные факторы, проведя эксперимент в идеализированном виде.

4) В некоторых случаях, ситуациях, проведение реальных экспериментов не возможно вообще. Пробел в познании может восполнить только мысленный эксперимент. Например, в течение тысячелетий концепция Аристотеля господствовала и исследователи не смогли опровергать ее.

Суть следующая. По Аристотелю, движущееся тело останавливается, если действующая на тело сила прекращает свое действие. Это утверждение основывалось на простом опыте. Тележка, получившая силовое воздействие, а затем катящаяся уже без него по горизонтальной поверхности, неизбежно останавливается с течением времени.

Галилей, проделав мысленный эксперимент, опроверг идею Аристотеля. Галилей исключил воздействие на тело из трущихся поверхностей, т.е. исключил трение. В этом случае тело будет двигаться по инерции, даже после прекращения силы на тело.

Мысленный эксперимент может иметь большую ценность, помогая интерпретировать знание, полученное математически. Например, соотношение неопределенностей Гейзенберга ограничивает классические представления о микрочастицах, так как они обладают корпускулярно-волновым дуализмом. В специальной теории относительности (СТО) Эйнштейн показал, что пространство и время относительны. В механике Ньютона пространство и время абсолютны.

Основные положительные значения идеализации как метода научного познания заключаются в том, что получаемые на ее основе теории позволяют эффективно исследовать реальные объекты и явления, объяснить свойства объекта, вскрывать законы исследуемой области явлений материального мира.

1.2.4. Формализация, индукция и дедукция

Под формализацией понимается особый подход в научном познании, который заключается в использовании специальной символики, позволяющей отвлечься от изучения реальных объектов, от содержания описывающих их теоретических положений и оперировать вместо этого некоторым множеством символов (знаков).

Примером формализации являются широко используемые в науке математические описания различных объектов, явлений, основывающиеся на соответствующих теориях. При этом используемая математическая символика не только помогает закрепить имеющиеся знания об исследуемых объектах, явлениях, но и выступает своего рода инструментом в процессе дальнейшего их познания.

Для построения любой формальной системы необходимо:

- 1) задание алфавита, т.е. определенного набора знаков;
- 2) задание правил, по которым из исходных знаков этого алфавита могут быть получены слова, формулы;
- 3) задание правил, по которым от одних слов и формул данной системы можно переходить к другим словам и формулам.

В результате создается формальная знаковая система в виде определенного искусственного языка. Важным достоинством этой системы является возможность проведения в рамках ее исследования какого-либо объекта чисто формальным путем без непосредственного обращения к этому объекту.

Другое достоинство формализации состоит в обеспечении краткости и четкости записи научной информации.

Формализация той или иной теории возможна только при учете ее содержательной стороны. Голое математическое уравнение еще не представляет физическую теорию. Чтобы получить физическую теорию необходимо придать математическим символам конкретное физическое содержание.

Например, при решении уравнения Дирака получено математическое выражение с отрицательным значением энергии для электрона. Тем самым Дирак предсказал возможность существования позитрона (антиэлектрона, античастицу).

Использование формализации как метода теоретического познания связано не только с развитием математики и физики, но и других наук: химии, биологии, биофизики, геологии и др.

В химии используются символика для обозначения химических элементов, которых свою очередь используют при рассмотрении химических реакций и законов.

Для формализации математики Лейбниц создал логические исчисления, дифференциальные уравнения и др. В XIX в. появилась математическая логика, которая впоследствии сыграла важную роль в развитии кибернетики и появлении ЭВМ.

Язык современной науки существенно отличается от естественного человеческого языка. Он содержит много специальных терминов, широко использует средства формализации. Исходя из потребностей науки, создаются различные искусственные языки, предназначенные для решения тех или иных задач.

Например, языки программирования. Вместе с тем невозможно создать единого формализованного языка науки. Потому что каждая формальная система либо противоречива, либо содержит некоторую неразрешимую формулу, т.е. такую формулу, которую в данной системе нельзя ни доказать, ни опровергнуть.

Индукция – это метод познания, основывающийся на формальном умозаключении, которое приводит к получению общего вывода на основании частных посылок. **Индукция** – это есть движение нашего мышления от частного к общему.

Обнаруживая сходные признаки, свойства у многих объектов определенного класса, исследователь делает вывод об идентичности признаков, свойств всем объектам данного класса. Например, для исследования электрических и магнитных явлений исследователи использовали различные металлические проводники (медные, алюминиевые и др.). На основании многочисленных опытов сделали общий вывод об электропроводности этих металлов.

Наряду с другими методами познания, индуктивный метод сыграл важную роль в открытии некоторых законов природы (Законы Архимеда, всемирного тяготения, сверхпроводимости и др.).

Индукция может реализоваться в виде следующих методов:

1. **метод единственного сходства** (во всех случаях наблюдения какого-то явления обнаруживается лишь один общий фактор, все другие – различны, следовательно, это единственный сходный фактор есть причина данного явления);

2. **метод единственного различия** (если обстоятельства возникновения какого-то явления и обстоятельства, при которых оно не возникает, почти во всем сходны и различаются лишь одним фактором, то можно сделать вывод, что этот фактор и есть причина данного явления).

3. **соединенный метод сходств и различия;**

4. **метод сопутствующих изменений;**

5. **метод остатков.**

Родоначальником индуктивного метода познания является Бэкон. Как известно, индукцию в отрыве от другого метода дедукции нельзя рассматривать.

Дедукция – это есть получение частных выводов на основе знания общих положений, т.е. – это есть движение нашего мышления от общего к частному.

Например, из СТО можно получить частные законы Ньютона или из квантовой механики – законы классической механики.

Дедуктивный метод помогает правильно понять конкретные явления действительности. Дедуктивный метод использует во всех есте-

ственных науках, но особенно она имеет большое значение в математике.

1.2.5. Общенаучные методы, применяемые на эмпирических и теоретических уровнях познания.

Анализ и синтез, аналогия и моделирование

Под анализом понимают разделение объекта на составные частицы с целью их отдельного изучения. С древних времен анализ применялся для разложения на составляющие некоторых веществ. Постепенно появилась аналитическая химия, которая является основой современной химии. Анализ занимает важное место в изучении объектов материального мира, но он составляет лишь первый этап процесса познания. Например, если в химии занимались только анализом, выделением и изучением отдельных химических элементов из вещества, то не смогли бы познать те сложные вещества, в состав которых входят эти элементы (например, бронза состоит из элементов меди и цинка, кадмия).

Для постижения объекта как единого целого нельзя ограничиваться изучением лишь его составных частей. В процессе познания необходимо вскрывать объективно существующие связи между ними, рассматривать их в совокупности, в единстве. Осуществить этот этап в процессе познания, т.е. перейти от изучения отдельных составных частей объекта к изучению его как единого целого, возможно только в том случае, если этот метод анализа дополняется другим методом – синтезом.

Синтез – это соединение воедино составных частей изучаемого объекта, расчлененных в результате анализа. Синтез не означает просто механического соединения разъединенных элементов в единую систему. Он раскрывает место и роль каждого элемента в системе целого, устанавливает их взаимосвязь, т.е. позволяет понять единство изучаемого объекта. Например, синтезированная керамика Y-Ba-CuO обладает свойством сверхпроводимости, хотя каждый элемент не обладает этим свойством.

Синтез и анализ используются и в сфере мыслительной деятельности человека, т.е. в теории познания.

Аналогия и моделирование. Под аналогией понимается подобие, сходство каких-то свойств, признаков или отношений у различных в целом объектов. Установление сходства между объектами осуществляется в результате их сравнения. Таким образом, сравнение лежит в основе метода аналогии.

Если делается логический вывод о наличии какого-либо свойства у изучаемого объекта на основании установления его сходства с другими объектами, то этот вывод называется **умозаключением** по аналогии. Степень вероятности получения правильного умозаключения по аналогии будет тем выше:

- 1) чем больше известно общих свойств у сравниваемых объектов;
- 2) чем существеннее обнаруженные у них общие свойства;
- 3) чем глубже познана взаимная закономерная связь этих сходных свойств.

Существуют различные типы выводов по аналогии. Выводы по аналогии в самом общем смысле можно определить как перенос информации с одного объекта на другой. При этом первый объект, который подвергается исследованию, именуется **моделью**, а другой объект, на который переносится информация, полученная в результате исследования объекта - модели, называется **оригиналом (прототипом, образцом)**. Таким образом, модель всегда выступает как **аналогия**. Под моделированием понимается изучение моделируемого объекта в соответствии со свойствами и замещение его моделью и перенос полученных сведений на оригинал. В зависимости от характера используемых в научном исследовании моделей различают несколько видов моделирования.

1. **Мысленное моделирование.** К ним относятся самые различные мысленные представления. Например, силовые линии электрического и магнитного полей; модель атома Резерфорда; модель идеального газа.

2. **Физическое моделирование.** Оно характеризуется физическим подобием между моделью и оригиналом и имеет целью воспроизвести в модели процессы, свойственные оригиналу. Пренебрежение результатами таких модельных исследований может привести к тяжелым последствиям.

В настоящее время физическое моделирование широко используется для разработки различных сооружений (плотин электростанции,

аэродинамического качества самолетов и т.д.), построение зданий (сейсмоустойчивых и др.).

3. **Символическое моделирование.** Оно связано с условно – знаковым представлением свойств, признаков объекта – оригинала. К символической модели относятся разнообразные топологические и графовые представления (в виде графиков, номограмм, схем и др.) исследуемых объектов.

Например, модели, представленные в виде химической символики и отражающие состояния. Особой и очень важной разновидностью символьного моделирования является математическое моделирование. Взаимосвязи между различными величинами, описывающими свойств объекта или явления, могут быть представлены соответствующими уравнениями (дифференциальные, интегральные уравнения и др.).

Полученная система уравнений вместе с начальными и граничными условиями и коэффициентами называются **математическими моделями**. Математическое моделирование может применяться в сочетании с физическим моделированием, которое называется **вещественно-математическим моделированием**.

Такое моделирование позволяет исследовать процессы в объекте-оригинале, заменяя их изучением процессов в моделях. Например, механические колебания могут моделироваться электрическими колебаниями.

4. **Численное моделирование на ЭВМ.** Это моделирование основано на ранее созданной математической модели изучаемого объекта или явления и применяется в случаях больших объемов вычислений. Численное моделирование важно там, где не совсем ясна физическая картина изучаемого явления, не опознан внутренний механизм взаимодействия.

Контрольные вопросы к главе 1

1. В чём отличие гуманитарной и естественнонаучной культуры?
2. Опишите основные понятия метода и методологии.
3. Охарактеризуйте общенаучные методы эмпирического познания, наблюдение, эксперимент и измерение.
4. Опишите общенаучные методы теоретического познания. В чём смысл абстрагирования, идеализации и мысленного эксперимента?

5. Сформулируйте понятия формализации, индукции и дедукции и их применение.

6. Опишите общенаучные методы, применяемые на эмпирических и теоретических уровнях познания.

7. В чем заключается анализ и синтез, аналогия и моделирование.

ГЛАВА 2. Механическая картина мира.

Элементы классической механики и термодинамики

2.1. Введение. Предмет изучения физики

Закономерность материального мира, выявляемые физикой, представляет собой систему утверждений (теории, принципы, законы, гипотезы и др.), дающих идеализированное представление физических объектах. Физическая картина мира основывается на складывающихся представлениях о веществе и формах его проявлений, специфике интерпретации пространственно-временных отношений, понимании сущности движения, причинности и др. Эти представления формируются в рамках складывающейся системы физического знания (эмпирические данные, научные методы и теории и т.д.).

Понятие состояния физической системы является центральным элементом физической теории. Оно подразумевает совокупность данных, характеризующих особенность рассматриваемого объекта или системы в данный момент времени.

Состояние физической системы – это конкретная определенность системы, однозначно детерминирующая ее эволюцию во времени. Для задания состояния системы необходимо:

- определить совокупность физических величин, описывающих данное явление и характеризующих состояние системы, - параметры состояния системы;

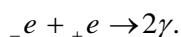
- выделить начальные условия рассматриваемой системы (зафиксировать значения параметров состояния в начальный момент времени).

Физика – это наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, законы ее движения.

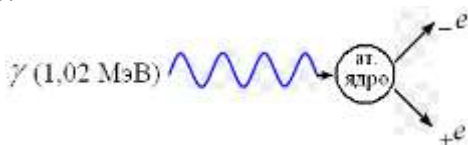
По современным представлениям во Вселенной существуют **материя** (в привычном смысле для нашего понимания) и **темная материя** (dark matter), **энергия и темная энергия** (dark energy). По данным исследованиям темная энергия составляет примерно 73% наблюдаемой Вселенной, темная материя 23%, оставшиеся 4% материи приходятся на обычные материю и энергию.

Эти наиболее изученные нами 4% материи включают в себя **вещество, физические поля и физический вакуум**.

Вещество – это элементарные частицы, атомы, простые и сложные неорганические и органические молекулы, такие как, например, ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и все тела, построенные из них. Из вещества состоят привычные для нас объекты не только микро- и макромира, но и объекты мегамира: звезды, планеты, галактики и др. К полям относятся: гравитационные, электромагнитные, ядерные, слабые и др. Различные виды материи могут превращаться друг в друга. Например, при аннигиляции электрона $-e$ и позитрона $+e$ (антиэлектрон) они превращаются в гамма кванты, которые являются переносчиками электромагнитных волн, т.е.



Если гамма квант с большой энергией, например, с $E_\gamma = 1,02$ МэВ взаимодействует с полем атомного ядра, то он превращается в позитрон $+e$ и электрон $-e$, т.е. поле переходит в вещество:



Материя вечно и находится в непрерывном движении.

Для описания строения и свойств материи, явлений природы необходимы физические теории и законы.

Физические законы устанавливаются на основе обобщения опытных фактов и выражаются в виде количественных зависимостей между физическими величинами.

Физическими величинами называются характеристики процессов или свойств тел, которые могут быть определены количественно с помощью тех или иных измерений. Для количественного описания фи-

зических законов используют математический аппарат, позволяющий не только количественно выражать найденные зависимости, но исследовать их и находить новые. Основным методом исследования в физике является опыт (эксперимент).

Физическим опытом называется воспроизведение явления в искусственных (лабораторных) условиях, исключающих второстепенные связи, сказывающиеся на явлении. Например, исследуя влияние силы тяжести на падение тел, мы заставляем тело падать в трубке, из которой откачан воздух. При этом устанавливается зависимость ускорения, с которым падает камень, от величины силы тяжести. Сравнение результатов наблюдения и опыта позволяет сделать заключение, что в отсутствие сопротивления воздуха ускорение, с которым падают все тела на Землю, одинаково для всех тел. Для объяснения экспериментальных данных выдвигаются гипотезы.

Гипотеза – это научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо факта или явления и требующее проверки и доказательства для того, чтобы стать научной теорией или законом. Например, гипотеза де Бройля о дуализме материи, Планка о кванте излучения и др. Правильность высказанной гипотезы проверяется посредством опытов. Успешно прошедшая такую проверку и доказанная гипотеза превращается в научную теорию или закон. Гипотеза де Бройля о волновых свойствах микрочастиц доказана на опытах дифракции электронов, атомов и др.

Физическая теория представляет собой стройную систему основных идей, обобщающих опытные данные и отражающих объективные закономерности природы. Физическая теория дает объяснение целой области явлений природы с единой точки зрения. Например, квантовая теория объединяет классическую теорию.

Раньше всех развивалась классическая теория, основоположниками которой являются Г. Галилей, И. Ньютон и др. Ньютоновская теория оказалась настолько могущественной, что у многих исследователей сложилось представление о том, что с помощью теории Ньютона можно объяснить любое физическое явление. Такое впечатление сложилось до начала 20 века. К началу 20 века были известны такие физические явления, которые не смогла объяснить ньютоновская теория. К ним относятся спектры атомов, тепловое излучение, фотоэффект, введение эфира и др.

Для решения задачи о тепловом излучении М. Планк в 1900 году ввел понятие кванта излучения, которое привело к созданию квантовой механики. В 1905 году для объяснения фотоэффекта А. Эйнштейн предложил гипотезу о кванте света. Для описания поведения волновых свойств микрочастиц в 1926 году Э. Шредингер создал волновое уравнение. В дальнейшем квантовую теорию развивали Дирак, Гейзенберг, Бор и др.

Для решения противоречия опытных фактов, касающихся эфира, Эйнштейна побудило пересмотреть представление о пространстве и времени, которое привело к созданию специальной теории относительности (СТО). Ньютон считал пространство и время абсолютными, существующими независимо друг от друга. По Эйнштейну пространство и время относительны и зависимы друг от друга. Таким образом, Эйнштейном была создана релятивистская механика. Следовательно, все физические законы и теории, созданные до 1900 года, считаются классическими и, соответственно, являются основой классической физики, а после 1900 года физика, объясняющая явления природы, считается современной.

Физические законы лежат в основе технических наук. В машиностроении используются законы механики, теории теплоты, электромагнитных явлений. Теплотехника, электротехника, радиотехника, светотехника и другие технические отрасли теснейшим образом связаны с физикой. Связь физики с техникой расширяется и становится еще теснее с развитием научно-технической революции. Тому свидетельство – развитие оптоволоконной связи, микроэлектроники, атомной индустрии, лазерной техники, нанотехнологий и др.

2.2. Основные характеристики кинематики

Наука, изучающая простейшую форму движения, которая состоит в перемещении тел друг относительно друга и в изменении формы и размеров тела, называется *механикой*.

Механика делится на кинематику, статику и динамику. Раздел механики, изучающий движение тел в пространстве и во времени без причин, которые вызывают движение или изменения его, называется *кинематикой*. Кинематика, в свою очередь, делится на кинематику поступательного движения и кинематику вращательного движения.

В природе мы наблюдаем движения тел повседневно. Хотя механическое движение считается простейшим, однако описать закон движения любого тела очень трудно. Это потому, что в одних случаях тело будет двигаться как целое, в других- при движении взаимное положение частей тела может меняться. Поэтому изучение движения тела нужно начинать с рассмотрения движения отдельной части или точки тела. В физике для решения задач рассматривают модели физических объектов в виде абстракций. Таковыми являются материальная точка, система отсчета, траектория, вектор перемещения и другие.

Материальной точкой называют абстракцию реального тела, размерами и формой которого пренебрегают в данной задаче. При этом тело рассматривается как геометрическая точка, обладающая массой, равной массе тела.

Для изучения движения тела, необходимо выбрать тело, по отношению к которому можно фиксировать местоположение, отметить перемещение данного тела, т.е. нужно выбрать тело отсчета.

Телом отсчета называется тело, относительно которого рассматривается движение другого тела. Для количественного определения положения тела в каждый момент времени необходимо выбрать систему координат, а также иметь часы.

Совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчета, по отношению к которому изучается движение других тел, называется **системой отсчета**. Система отсчета может быть как инерциальной, так неинерциальной.

Инерциальной системой отсчета (ИСО) называется система отсчета, относительно которой все тела либо движутся равномерно и прямолинейно, либо покоятся. Такой системы отсчета в природе нет, но приближенная к ней ИСО – это система отсчета, связанная с Солнцем (гелиоцентрическая система).

В некотором участке траектории, когда Земля почти движется прямолинейно, систему отсчета, связанную с Землей, приближенно можно считать ИСО. Чаще ее называют лабораторной системой отсчета (ЛСО).

Пространство, описываемое классической механикой, считается однородным и изотропным. Математически такое пространство описывается геометрией Евклида и в качестве абстрагированной системы отсчета может быть принята прямоугольная система отсчета (ПСО).

Тогда все точки пространства определяются тремя числами координат: x, y, z (см. рис.2.1).

Прямую, соединяющую начало координат (точку O) и точку пространства (точку A), направленную от т. O к т. A , называют *радиус-вектором*, значение и направление которого зависит от координат, т.е.

$$\vec{r} = \vec{r}(x, y, z).$$

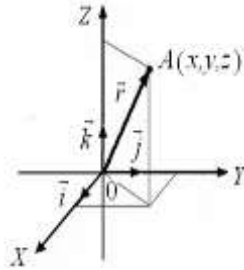


Рис. 2.1.

Введем единичные вектора $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$, модуль которых равен единице: $|\vec{i}| = 1$. Тогда радиус-вектор можно записать в виде

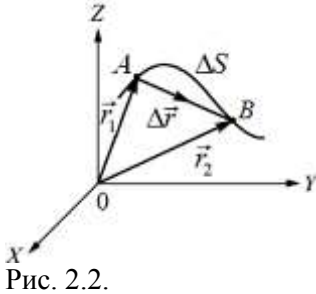
$$\vec{r}(x, y, z) = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z,$$

где x, y, z – длины векторов $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$, определяемых проекцией вектора \vec{r} на каждую ось.

При движении материальная точка в пространстве описывает некоторую линию, которая называется *траекторией*. Если траектория прямая, то движение называется прямолинейным, а если кривая, то криволинейным движением. Форма траектории и характер движения зависят от того, с какой системой отсчета связано движение материальной точки. Например, если на Земле наблюдатель видит прямолинейную траекторию, то для наблюдателя, находящегося на Луне, траектория будет криволинейной, так как Земля вращается вокруг собственной оси.

Расстояние, пройденное материальной точкой по траектории, называется *длиной пути* ΔS , (см. рис. 2.2) Отрезок прямой (AB), соединяющий начало и конец движения материальной точки и направленный от начала к концу движения, называется *вектором перемещения* $\Delta \vec{r}$:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1.$$



При прямолинейном движении $|\Delta\vec{r}| = \Delta S$, а при криволинейном движении $|\Delta\vec{r}| < \Delta S$. На бесконечно малом участке траектории, когда $\Delta t \rightarrow 0$ и $\Delta\vec{r} \rightarrow 0$, предел отношения $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{|\Delta\vec{r}|} = 1$, т.е. $dS = |d\vec{r}|$.

Определив для ряда моментов времени соответствующие координаты перемещающейся материальной точки, мы можем затем графически или аналитически сопоставить каждому моменту времени соответствующие значения координат материальной точки. Тогда мы получим функциональную зависимость координат от времени, т.е.

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t), \quad \vec{r} = \vec{r}(t). \quad (2.1)$$

Уравнения (2.1) называются *кинематическими* уравнениями.

Зная явный вид уравнений (2.1), можно найти скорость, ускорение движущегося тела (материальной точки). Исключив из уравнений (2.1) время, можно найти уравнение траектории.

2.3. Законы Ньютона

Динамика – это раздел механики, изучающий движение тел с теми причинами, которые вызывают тот или иной характер движения.

Динамика изучает состояние движения тел как результат взаимодействия между ними. Основой решения динамических задач являются три закона Ньютона. Они сформулированы в результате обобщения большого количества опытных фактов и теоретических закономерностей в области механики, которые были установлены И.Кеплером, Г.Галилеем, Х.Гюйгенсом, Р.Гуком, И.Ньютоном и др.

Правильность законов Ньютона подтверждается согласием с опытом тех следствий, которые из них вытекают. Ньютоновская механика возникла и развивалась на основе изучения движений макроскопических тел (небесные и земные тела, состоящие из большого числа атомов), происходящих при малых скоростях, меньших, чем скорость

света c ($v \ll c$). Поэтому для таких явлений ньютоновская теория считалась безупречной и абсолютной до начала XX в.

Первый закон Ньютона гласит: «Всякое тело пребывает в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения до тех пор, пока внешние воздействия не вызовут изменение этого состояния».

Первый закон утверждает, что:

1) любое тело в отсутствие действия сил обладает свойством сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения, которое называется инерцией;

2) покой и равномерное прямолинейное движение - одно и то же механическое состояние тела, т.е. никакими механическими опытами внутри данной системы отсчета невозможно обнаружить, что тело покоится или движется равномерно и прямолинейно. Это было впервые сформулировано Галилеем и называется принципом относительности Галилея. Следовательно, понятия «покой» и «равномерное прямолинейное движение» относительны;

3) только силы (внешние воздействия) могут изменить состояние покоя или прямолинейного равномерного движения.

Первый закон Ньютона сформулирован относительно инерциальной системы отсчета (ИСО).

Второй закон Ньютона

Основная задача динамики заключается в выявлении того, как изменяется механическое движение тел под действием приложенных к ним сил. Опыты показывают, что под действием силы \vec{F} свободное тело изменяет свою скорость \vec{v} , приобретая ускорение \vec{a} . Задача: описать движение такого тела. На поставленную задачу Ньютон сформулировал закон следующим образом.

«Произведение массы тела на ускорение равно результирующей силе, действующей на тело». Математическая запись

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \quad m\vec{a} = \vec{F},$$

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ – ускорение, характеризующее быстроту изменения величины и направления скорости, $[a] = \text{м/с}^2$.

Скорость $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ характеризует быстроту изменения величины и направления радиус-вектора.

Физическая величина, характеризующая результат взаимодействия тел, вследствие которого тела либо ускоряются, либо деформируются, либо ускоряются и деформируются, называется **силой**. Сила является векторной величиной, т.е. в каждый момент времени в пространстве характеризуется модулем, направлением и точкой приложения. Единица измерения силы в СИ – ньютон [Н].

Масса – количественная мера инертности тела. Единицей измерения массы тела в СИ является килограмм [кг]. Масса является скалярной величиной. Инертность-это свойство тело противиться (сопротивляться) к действию сил.

Второй закон выражает принцип причинности, т.е. устанавливает однозначную связь между изменением состояния движения и положения тела в пространстве с действующей на него силой. Этот закон позволяет, зная начальные условия (координата x_0 , и скорость v_0 тела в начальный момент времени) и действующую на тело силу \vec{F} , рассчитать координату и скорость в любой момент времени.

2.4. Законы сохранения

2.4.1. Сохраняющиеся величины

Рассмотрим механическую систему, состоящую из N взаимодействующих тел. Эти тела могут взаимодействовать как между собой (*внутренние тела*), так и с *внешними телами*, не принадлежащими к системе.

Силы, действующие между внутренними телами, называются **внутренними**, а силы, действующие со стороны внешних тел на внутренние, называются **внешними**.

Если на систему тел не действуют внешние силы, то такая система называется **изолированной (замкнутой)**. Теория и опыты показывают, что для замкнутых систем существуют такие функции координат

нат и скоростей образующих систему частиц¹, которые сохраняют при движении постоянные значения. Эти функции называются **интегралами движения**. Таковыми являются импульс, момент импульса тела, энергия, и соответственно рассматриваются законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.

Для замкнутых систем неизменными величинами являются импульс, момент импульса, энергия, и соответственно рассматриваются законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.

Закон сохранения импульса связан с **однородностью пространства**, смысл которого заключается в следующем: при параллельном переносе замкнутой системы из одного места в другое без изменения взаимного расположения и скоростей частиц внутри системы, не изменяются механические свойства системы, т.е. свойства пространства во всех точках одинаковы.

Закон сохранения момента импульса связан с **изотропией пространства**, т.е. одинаковостью свойств пространства по всем направлениям, смысл которой заключается в том, что при повороте замкнутой системы как целого вокруг некоторой оси, не изменяются механические свойства системы.

И, наконец, с **однородностью времени** связан **закон сохранения энергии**, т.е. с равнозначностью всех моментов времени. Равнозначность следует понимать в том смысле, что при замене момента времени t_1 моментом t_2 без изменения координат и скоростей частиц внутри системы, не изменяются механические свойства системы.

2.4.2. Закон сохранения импульса

Рассмотрим изолированную систему, состоящую из N взаимодействующих тел. Для такой системы выполняются законы сохранения импульса, механической энергии и момента импульса.

В изолированной системе векторная сумма импульсов взаимодействующих частиц остается неизменной с течением времени. Или: импульс каждой взаимодействующей частицы может изменяться, но векторная сумма импульсов остается постоянной. Математическое выражение закона сохранения импульса можно записать в виде

¹ Под частицами подразумеваются тела, материальные точки и др.

$$\sum_i m_i \vec{v}_i = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_N \vec{v}_N = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 + \dots + m_N \vec{u}_N = \text{const},$$

где $m_i \vec{v}_i$, $m_i \vec{u}_i$ – импульсы i -ой частицы до и после взаимодействия соответственно.

Частный случай

Рассмотрим случай, когда изолированная система состоит из двух тел ($N = 2$). Пусть два шара массами m_1 и m_2 движутся навстречу со скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 (рис.2.3.), и происходит лобовое столкновение.

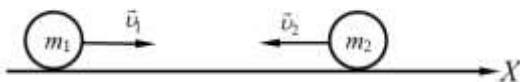


Рис.2.3.

При этом, если происходит абсолютно упругое столкновение, то закон сохранения импульса запишется в виде

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2,$$

где \vec{u}_1 и \vec{u}_2 – скорости шаров после удара. В скалярной форме в проекции на ось OX закон примет вид

$$m_1 v_1 \mp m_2 v_2 = m_1 u_1 \pm m_2 u_2,$$

где в правой части знак (-) – когда шар m_2 после удара движется против оси OX , а (+) в левой части – когда оба шара движутся по оси OX .

Абсолютно упругим ударом называется такой удар, после прекращения которого деформация тела полностью исчезает, т.е. тело восстанавливает первоначальную форму и размер. В противном случае удар называется **абсолютно неупругим**.

Примером почти абсолютно упругого удара является соударение резиновых мячей.

Для абсолютно неупругого удара закон сохранения импульса запишется в виде

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u},$$

И в скалярной форме в проекции на ось OX

$$m_1 v_1 \mp m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u.$$

Закон сохранения импульса используется при полетах космических кораблей, движении подводных и надводных судов и др.

2.4.3. Энергия. Закон сохранения механической энергии

В природе существуют различные формы движения материи: механическая, тепловая, электромагнитная и т.д. Для описания всех форм движения материи в физике ввели универсальную физическую величину – **энергию**.

Энергия – это универсальная количественная мера всех форм (видов) движения материи. Обозначим ее через W . Единица измерения – джоуль [Дж] (эрг – внесистемная). Энергия – скалярная величина.

В соответствии с формами движения материи, энергия подразделяется на механическую, тепловую, электромагнитную, ядерную и др.

С помощью энергии можно характеризовать движение, состояние или изменения состояния системы. Величины, с помощью которых характеризуются состояние или изменение, движение системы, называются **параметрами состояния**. Таковыми являются координаты, скорость, масса, температура, давление и др. Как известно, энергия количественно выражается через параметры, и изменение параметров влечет изменение энергии. Поэтому **энергия есть функция состояния системы**.

В природе энергия не исчезает, а переходит из одного вида в другой. Механическая энергия может перейти в тепловую или электромагнитную энергию и наоборот. Например, механическая энергия тела, движущегося по поверхности твердого тела переходит в тепловую за счет действия силы трения на тело, и в конечном итоге движение тела прекращается. Часть тепловой энергии паровой машины может перейти в механическую энергию.

В механике различают два вида энергии: энергия, зависящая от скорости тел и массы, называемая **кинетической**, и энергия, зависящая от взаимного положения тел или частей тел, т.е. от координат, так называемая **потенциальная энергия**.

Кинетическая энергия определяется по формуле:

$$W_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}.$$

Здесь $p = mv$ – импульс тела.

Физическая величина $W_{\Pi}(r)$, которая зависит от координат, называется **потенциальной энергией**.

Понятие потенциальной энергии имеет место, когда тело (частица) находится в поле консервативных сил.

Силы, работа которых по перемещению материальной частицы от одной точки к другой не зависит от формы траектории, а зависит от начального и конечного положения частицы, называются **консервативными** (сила тяжести, электрическая сила, упругая сила и др.).

Силы, работа которых зависит от формы траектории, называются **диссипативными** (силы трения, сопротивления и др.).

1. Потенциальная энергия тела, находящегося в поле силы тяжести. Пусть тело массой m находится на высоте h (см. рис.2.4.) и свободно падает под действием силы тяжести mg на поверхность Земли.

Считаем точку B фиксированной. Тогда потенциальная энергия тела, находящегося на высоте h в точке A равна

$$W_{\text{ПА}}(h) = mgh.$$

2. Потенциальная энергия тела под действием гравитационной силы определяется по формуле:

$$W_{\text{П}} = -\gamma \frac{Mm}{r},$$

где M – масса тела, создающего гравитационное поле (например, масса Земли), $\gamma = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ – гравитационная постоянная.

3. Потенциальная энергия упруго деформированного тела равна

$$W_{\text{П}} = \frac{kx^2}{2}.$$

где k – коэффициент жёсткости [$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$]; x – абсолютное удлинение [М].

Закон сохранения механической энергии

Сумма кинетической W_K и потенциальной $W_{\text{П}}$ энергий называется **полной механической энергией**, т.е. $W = W_K + W_{\text{П}}$.

В изолированной системе тел, где отсутствуют диссипативные силы,

полная механическая энергия системы остается постоянной с

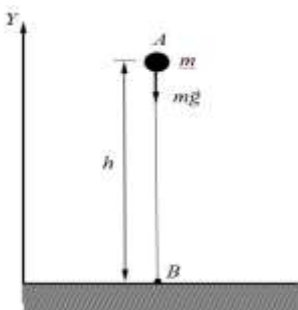


Рис.2.4.

течением времени. Энергия может перераспределяться между телами системы или переходить из кинетической в потенциальную и наоборот, но суммарное значение ее остается постоянным:

$$W = W_k + W_{\Pi} = const .$$

2.5. Элементы специальной теории относительности

2.5.1. Принцип относительности и преобразования Галилея

Как известно, для решения физических задач в физике ввели инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Для кинематического описания движения тела пригодна любая система отсчета, выбор которой называется кинематическим принципом и не связан с существом физических законов. Однако, использование инерциальной системы отсчета (ИСО) дает простую форму описания движения тела. Для этого Галилей сформулировал принцип относительности, который гласит:

во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково, и никакими механическими опытами, проводимыми внутри данной инерциальной системы отсчета, невозможно установить, покоится система отсчета или движется равномерно и прямолинейно. Из принципа относительности следует, что законы Ньютона формулируются одинаково во всех ИСО, т.е. второй закон Ньютона имеет одинаковую математическую запись во всех ИСО. Ниже покажем это. Для этого рассмотрим преобразования Галилея.

Пусть система отсчета K' с координатами x', y', z' и времени t' движется равномерно и прямолинейно со скоростью U относительно неподвижной инерциальной системы K с координатами x, y, z и времени t (см. рис. 2.5).

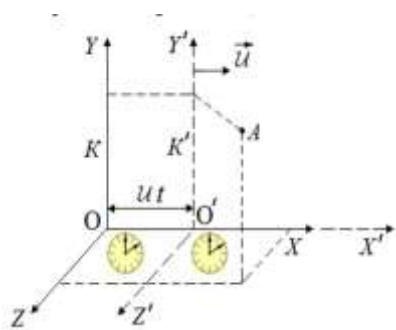


Рис.2.5.

Если точка A в системе K имеет координаты x, y, z , то ее координаты в системе K' представляются как:

$$x' = x - ut, \quad y' = y, \quad z' = z \quad (2.2)$$

При переходе из системы K' в систему K координаты преобразуются в виде

$$x = x' + ut, \quad y = y', \quad z = z' \quad (2.3)$$

Уравнения (2.1 – 2.3) называют преобразованиями Галилея.

2.5.2. Следствия преобразования Галилея

Из преобразований Галилея вытекают следующие следствия: одновременность и длительность событий; преобразование скоростей и ускорений; преобразование силы и второго закона Ньютона.

1) Преобразование скоростей

Пусть даны компоненты скоростей частицы, движущейся в K' -системе, которая, в свою очередь, движется со скоростью u относительно неподвижной K -системы:

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'}, \quad v'_y = \frac{dy'}{dt'}, \quad v'_z = \frac{dz'}{dt'}. \quad (2.4)$$

Нужно определить компоненты скоростей движущейся частицы относительно K -системы. Для этого необходимо в (2.4) подставить координаты системы K' (2.3) и с учетом $t = t'$, получим

$$v'_x = \frac{d}{dt}(x - ut) = \frac{dx}{dt} - u = v_x - u, \quad v'_y = v_y, \quad v'_z = v_z, \quad (2.5)$$

Пусть отчет времени обеих систем начался в момент, когда начала координат обеих систем совпадали. Опыты показывают, что если $u \ll c$, где c – скорость света, то время в обеих системах отсчета течет одинаково:

$$t = t'. \quad (2.1)$$

где U'_x – относительная, U_x – абсолютная и U – переносная скорости.

2) Преобразование второго закона Ньютона

Пусть в системе отсчета K' второй закон Ньютона имеет вид:

$$\vec{F}' = m'\vec{a}'.$$

Так как $m' = m$, $a' = a$ и $F' = F$, то в системе K второй закон Ньютона запишется в виде

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Математическая форма записи второго закона Ньютона при переходе от одной ИСО к другой (из K' в K) не изменяется.

Физические величины и законы, не изменяющиеся при переходе от одной ИСО к другой, называют **инвариантными** (не изменяющимися) к преобразованиям Галилея.

2.5.3. Принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца

Выше было показано, что законы Ньютона инвариантны к преобразованиям Галилея. Возникает вопрос: будут ли другие физические законы инвариантны к этим преобразованиям? Известно, что кроме законов Ньютона к фундаментальным законам физики относятся законы электродинамики, выражаемые уравнениями Максвелла. Простая проверка показывает, что уравнения Максвелла не инвариантны к преобразованиям Галилея. Такой результат поставил ученых перед выбором. Во-первых, отказаться от уравнений Максвелла, считая их неправильными; во-вторых, отбросить принцип относительности и, в-третьих, считать преобразования Галилея неточными.

На поставленный вопрос ответили Эйнштейн в 1905 году и не зависимо от него Лоренц следующим образом: уравнения Максвелла и принцип относительности Галилея справедливы, но необходимы новый принцип и новые преобразования, относительно которых все физические законы инвариантны во всех инерциальных системах отсчета. Тогда принцип относительности Галилея, уравнения Максвелла и законы механики являются частными случаями относительно нового принципа и новых преобразований.

Эйнштейн сформулировал постулаты:

1) скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от направления его распространения и движения источника и приемника света;

2) физические законы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета, и, следовательно, математическая форма записи законов должна быть инвариантна к преобразованиям.

В ньютоновской механике пространство и время абсолютны. Эйнштейн показал, что свойства пространства и времени изменяются и зависят от движения материальных объектов, с которыми связывают инерциальные системы отсчета, т.е. пространство и время относительны. На основании этих рассуждений и постулатов Эйнштейн создал специальную теорию относительности (СТО) и получил новые преобразования:

$$x' = \frac{x - Ut}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}; \quad x = \frac{x' + Ut'}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}; \quad t' = \frac{t - \frac{Ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}; \quad t = \frac{t' + \frac{Ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}; \quad (2.6)$$

$$y' = y; \quad y = y'; \quad z' = z; \quad z = z';$$

где U – скорость движения инерциальной системы отсчета K' относительно системы K , c – скорость света в вакууме. Введем обозначение $\beta = \frac{U}{c}$. Соотношения (2.6) называются **преобразованиями Лоренца**, которые впервые получил их, исходя из других предположений. Из (2.6) следует, во-первых, что время t выступает как равноправная четвертая координата, во-вторых, время зависит от координаты и скорости и подвергается преобразованиям.

При $\frac{U}{c} \ll 1$, $U \ll c$ преобразования (2.6) Лоренца переходят в преобразования Галилея, т.е.

$$x' = \frac{x - Ut}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}} \approx x - Ut; \quad t' = \frac{t - \frac{Ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}} \approx t.$$

Из последних выражений следует, что преобразования Галилея и ньютоновская динамика являются частными случаями СТО и они справедливы при малых скоростях движения тела (частицы), много меньших скорости света.

2.5.4. Пространство и время в СТО. Относительность одновременности

В ньютоновской механике события, одновременные в одной инерциальной системе отсчета, будут одновременными во всех других инерциальных системах. Будут ли они одновременными в СТО?

Пусть в движущейся системе K' в точках x'_1 и x'_2 одновременно в момент времени t' произошли два события, например, зажглись две лампочки (см. рис. 2.6). Будут ли эти два события одновременными для наблюдателя системы K ?

Для этого используем преобразования для времени из формул (2.6) для точек x'_1 и x'_2 :

$$t_1 = \frac{t' + \frac{ux'_1}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t_2 = \frac{t' + \frac{ux'_2}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (2.7)$$

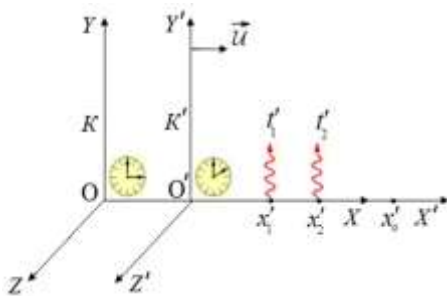


Рис.2.6.

временны в системе K .

где t_1 и t_2 – моменты времени двух событий, происходящих одновременно в точках x'_1 и x'_2 в системе K . Так как $x'_1 \neq x'_2$, то из (2.7) следует, что $t_1 \neq t_2$, т.е. два события, происходящие одновременно в точках x'_1 и x'_2 в системе K' , не одно-

Относительность продолжительности событий. Замедление времени. Пусть в движущейся системе отсчета K' в неподвижной точке x'_0 (рис. 2.6) произошло событие длительностью $\Delta t' = t'_2 - t'_1$, где t'_1 и t'_2 – моменты времени начала и конца события (по часам покоящимся в системе отсчета K'). Для наблюдателя в неподвижной системе K начало и конец события (по своим часам) в моменты t_1 и t_2

равны
$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (2.8)$$

Из соотношения (2.8) следует, что длительность события Δt в системе K не равна длительности $\Delta t'$ в системе K' , т.е. $\Delta t \neq \Delta t'$. **Длительность одного и того же события неодинакова в разных инерциальных системах отсчета.** В движущейся системе K' длительность события меньше, чем длительность этого события в неподвижной системе K .

2.5.5. Взаимосвязь массы и энергии покоя

Эйнштейн в СТО показал взаимосвязь массы и энергии в виде:

$$W_0 = mc^2 \quad \text{или} \quad m = \frac{W_0}{c^2}. \quad (2.9)$$

Каков смысл формулы (2.9)? Эта формула указывает на принципиальную возможность перехода энергии вещества в энергию излучения и наоборот. Т.е. (2.9) указывает на принципиальную возможность перехода вещества с массой в материальные объекты в виде излучения с массой частицы, равной нулю ($m = 0$) и наоборот, при количественном сохранении энергии. Например, при соединении (аннигиляции) электрона и позитрона (антиэлектрон) возникают два гамма-фотона с нулевой массой, энергия которых равна сумме энергий электрона и позитрона.

Из (2.9) вытекает, что всякое изменение массы частицы Δm сопровождается изменением энергии покоя, т.е.

$$\Delta W_0 = c^2 \Delta m.$$

Например, поглощая солнечные лучи тело приобретает некоторое количество энергии ΔW . При этом масса тела возрастает на величину

$$\Delta m = \frac{\Delta W}{c^2}. \quad (2.10)$$

Утверждение (2.10) носит название **закона взаимосвязи массы и энергии**. Взаимосвязь массы m и энергии покоя W_0 приводит к тому, что масса взаимодействующих частиц является неаддитивной, т.е. после взаимодействия частиц масса образовавшейся частицы не равна сумме масс взаимодействующих частиц.

Неаддитивность массы наблюдается в ядерной физике. При образовании ядра гелия из двух протонов и двух нейтронов масса образовавшегося ядра гелия не равна сумме масс протонов и нейтронов. Более подробно рассмотрим этот вопрос в ядерной физике.

Частицы с нулевой массой.

В ньютоновской механике не допускают существования частиц с нулевой массой, т.к. такие частицы обладали бы бесконечным ускорением. В релятивистской механике существование с нулевой массой частиц не противоречит законам релятивистской механики. Причем по теории СТО частицы с нулевой массой могут существовать, только двигаясь со скоростью света c . Такие частицы обладают импульсом

$$p = \frac{W}{c}.$$

Примером частиц с нулевой массой является фотон. Для фотона энергия равна $W = h\nu$, где $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ [Дж·с] – постоянная Планка, ν – частота колебаний частиц. Тогда импульс фотона равен $p = \frac{h\nu}{c}$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

2.5.6. Понятие общей теории относительности (ОТО)

Специальная теория относительности, созданная Эйнштейном в 1905 году, является частной теорией, т.к. в ней не учтено гравитационное поле (гравитация). В 1916 году Эйнштейн учитывая гравитацию, создал общую теорию относительности (ОТО), которая называется теорией гравитации.

В основе ОТО Эйнштейн учел принцип эквивалентности, согласно которому свойства движения в неинерциальной системе отсчета

такие же, что и в инерциальной системе отсчета (ИСО) при наличии гравитационного поля. Смысл принципа эквивалентности следующий.

Как известно, масса тела фигурирует в двух различных законах: во втором законе Ньютона и в законе всемирного тяготения. В первом случае масса характеризует инертные свойства тела, во втором, гравитационные свойства, т.е. способность тел притягивать друг друга. В связи с этим возникает вопрос: чем отличаются инертная и гравитационная массы? Многочисленные опыты доказывают, что инертная и гравитационная массы всех тел пропорциональны друг другу². Это означает, что при надлежащем выборе единиц гравитационная и инертная массы становятся тождественными (одинаковыми). Поэтому в физике говорят просто о массе. Тождественность гравитационной и инертной масс Эйнштейн положил в основу ОТО.

Все тела, независимо от их масс и химического состава, получают в данном гравитационном поле одинаковые ускорения. Поэтому в таком поле они движутся совершенно одинаково, если одинаковы начальные условия. Тем же свойством обладают свободно движущиеся тела относительно какой-либо неинерциальной системы отсчета. В неинерциальной системе отсчета³ возникают силы инерции. Так как силы инерции пропорциональны массе тела, на которое они действуют, то можно считать, что силы инерции аналогичны силам тяготения.

Допустим сначала, что лифт неподвижно висит на тросе или движется равномерно относительно Земли. Все тела в лифте подвергаются действию земного тяготения. Пассажир в лифте ощущает вес собственного тела, оказывает давление на пол лифта. Груз, подвешенный на пружине, растягивает ее силой своего веса. Все тела, предоставленные самим себе, свободно падают относительно лифта с одним и тем же ускорением \vec{g} и т.д.

Вообразим теперь, что лифт удален от Земли и прочих небесных тел настолько, что он не подвергается никаким гравитационным воздействиям, и каким-то образом движется с ускорением $\vec{a} = -\vec{g}$. Гравитационного поля в лифте нет, зато действует сила инерции: $\vec{F}_u = -m\vec{a} = m\vec{g}$. Если тела ничем не удерживать, то под действием

² СМ.: САВЕЛЬЕВ И.В. КУРС ОБЩЕЙ ФИЗИКИ. В 5 КН. КН. 1, 2002 Г., §7.5, СТР. 253–255.

³ СМ.: ТАМ ЖЕ, §4.1, СТР. 137–139.

силы инерции они начнут падать с ускорением \vec{g} . Груз, подвешенный на пружине, растянет ее, как если бы он обладал весом $m\vec{g}$. Пассажир в лифте будет оказывать на пол такое же давление, как и на Земле и т.д. Другими словами, все механические явления в лифте будут в точности такими же, что и в неподвижном лифте, находящемся в поле тяжести. Т.е., никакими опытами, проводимыми внутри лифта, невозможно установить, чем обусловлена сила инерции: ускоренным движением лифта или действием гравитационного поля Земли. Эйнштейн распространил это утверждение на все физические явления: ***все физические явления в равномерно ускоренной системе будут происходить в точности так же, как и в неподвижной системе, находящейся в однородном поле тяжести.***

С точки зрения классической механики явления, происходящие в лифте, объяснялись бы следующим образом. Если лифт находится на Земле неподвижно, то действие силы на тело обусловлено наличием гравитационного поля. Если лифт движется с ускорением $a = g$, то действием сил инерции. В классической механике силы инерции и гравитационные разделены. В ОТО между ними нет различия. Поэтому тождественность инертной и гравитационной масс является следствием эквивалентности сил инерции и тяготения.

Отсюда следует, что неинерциальная система отсчета эквивалентна некоторому гравитационному полю. Из принципа эквивалентности вытекает, что все явления, наблюдаемые в неинерциальной системе отсчета, могут наблюдаться в ИСО с учетом сил тяготения.

Например, частица света фотон в ИСО без гравитационного поля летит со скоростью c по прямолинейной траектории. В неинерциальной системе отсчета, движущейся с ускорением $-a$ параллельно оси Y , фотон будет обладать ускорением, перпендикулярным к оси X . Поэтому световой луч, прямолинейный в ИСО, в неинерциальной системе искривляется и приобретает форму параболы.

Согласно принципу эквивалентности такое же искривление луча должно наблюдаться в ИСО под действием перпендикулярного к лучу гравитационного поля. Вывод: световые частицы подвержены действию сил тяготения.

Эйнштейн на основе идеи римановой геометрии (пространство Римана) вывел уравнения гравитационного поля, которые связывают

величину, характеризующую кривизну пространства-времени с величиной, характеризующей распределение источников тяготения (тензором энергии-импульса).

ОТО Эйнштейна объяснила некоторые эффекты, наблюдаемые в экспериментах. Рассмотрим некоторые из них.

1) **Вращение перигелия планет.** Согласно решению Шварцшильда планеты движутся по эллиптическим орбитам, которые медленно поворачиваются (прецессируют) в своей плоскости. Это приводит к смещению ближайшей к Солнцу точки орбиты (перигелию). Например, для самой близкой к Солнцу планеты Меркурия поворот оси эллиптической орбиты составляет всего 43 угловые секунды ($43''$) в столетие, а для Земли прецессия орбиты составляет всего 4 угловые секунды ($4''$) в столетие. Прецессия орбит планет подтверждена астрономическими наблюдениями.

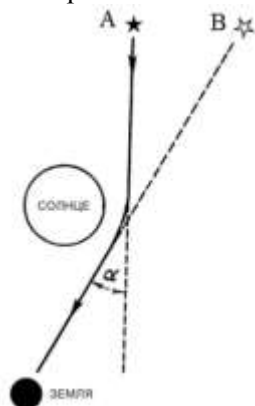


Рис. 2.7.

2) **Искривление световых лучей.**

Согласно ОТО лучи, проходящие вблизи Солнца, отклоняются на угол $\alpha = 1,75''$.

На рис. 2.7. условно показано искривление луча. Буквой А обозначено действительное положение звезды, а буквой В – ее кажущееся положение. Экспериментально с большой точностью было определено отклонение Солнцем радиолучей от квазаров. Полученное значение угла α совпало с предсказанным значением ОТО с погрешностью 1%.

3) **Гравитационное красное смещение.**

Примером применения принципа эквивалентности гравитационных сил и сил инерции является гравитационное красное смещение (ГКС) спектральных линий, которое теоретически предсказал Эйнштейн. ГКС – это явление сдвига частоты излучаемого света (электромагнитных волн) в сторону красной границы спектра по мере его удаления от источника излучения массивных тел, например, звезд, черных дыр. Свет, приходящий из областей с более слабым гравитационным полем, испытывает **гравитационное синее смещение.**

Гравитационное красное смещение объясняется замедлением времени. Согласно ОТО ход времени часов, находящихся вблизи объектов, создающих гравитационное поле, замедляется. Чем сильнее гравитационное поле, тем медленнее течет время по сравнению с течением времени часов (наблюдателя), находящихся вне поля. Следовательно, на Солнце время течет медленнее, чем на Земле. Время течет быстрее на горных вершинах, чем в долинах. В Италии и в Японии были проделаны эксперименты, в которых сравнивался ход двух одинаковых атомных часов, одни из которых находились высоко в горах. Результаты измерений оказались в согласии с ОТО.

Из космологического принципа, постулирующего пространственную однородность и изотропность Вселенной, А. Фридман (1922 г.) математически доказал, что Вселенная не может быть стационарной. Она находится либо в состоянии расширения, либо сжатия. Нестационарность Вселенной вскоре была экспериментально подтверждена. В 1929 году Э. Хаббл обнаружил, что галактики удаляются друг от друга – Вселенная расширяется. У далеких галактик одинаковое для всех спектральных линий относительное изменение длины волны, которое пропорционально расстоянию r от нас до галактик:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = Hr,$$

где H – постоянная Хаббла. Изменение длин волн обусловлено удалением источников света, т.е. смещением частоты в красную область спектра.

Гравитационное красное смещение активно применяется в современной астрофизике. Поправка на гравитационное красное смещение вводится в бортовые часы спутников глобальных систем позиционирования GPS и ГЛОНАСС.

Свойства пространства – времени

Поскольку пространство и время не отделимы от материи, то нужно говорить о пространственно-временных свойствах и отношениях материальных систем. Однако при познании пространства и времени ученые часто абстрагируются от их материального содержания, рассматривая их как самостоятельные формы бытия.

Общие свойства пространства. Общими свойствами пространства являются:

1) **протяженность**, понимая как рядоположенность, существование и связь различных элементов (точек, отрезков и др.). Протяженность пространства проявляется как единство прерывности и непрерывности в его структуре. Для пространства характерно отсутствие каких-либо «разрывов» и нарушений в распространении взаимодействий в природе. Но для отдельных материальных тел свойственна относительная прерывность, которая проявляется в раздельном существовании материальных объектов и систем, имеющих определенные размеры и границы;

2) **трехмерность**, в соответствии с которой все материальные процессы и явления реализуются в пространстве трех измерений, обладают длиной, шириной и высотой. Это общее свойство связано со структурой систем и их движением.

Общие свойства времени. Общими свойствами времени являются: 1) **длительность**, которая выступает как последовательность сменяющихся друг друга моментов или состояний, возникновение за каждым данным интервалом времени последующего. Длительность предполагает возможность прибавления к каждому данному моменту времени другого, а также возможность деления любого отрезка времени на меньшие интервалы. Длительность бытия объектов во времени выступает как единство прерывного и непрерывного. Общая непрерывность времени проявляется в постоянном переходе предшествующих состояний в последующие. Прежде чем произойдет какое-либо явление в будущем, должны осуществиться все предшествующие ему изменения в прошлом. Но конкретные объекты материального мира имеют начало и конец, определенную длительность, т.е. существуют конечный период. Поэтому можно говорить о прерывности бытия конечных материальных объектов, хотя она и относительна, так как между всеми сменяющимися друг друга качествами имеется внутренняя связь и непрерывный переход;

2) **необратимость времени** – общее свойство времени, означающее одностороннее изменение от прошлого к будущему. Прошлое порождает настоящее и будущее, переходит в них. К прошлому относятся все те события, которые уже осуществились и превратились в последующие. Будущие события – это те, которые возникнут из настоящих и непосредственно предшествующих им событий. Настоя-

щее охватывает все те объекты, системы и процессы, которые реально существуют и способны к взаимодействию между собой.

Понятие настоящего, так же как и понятие современности, многозначно, так как охватывает различные временные интервалы. Так, для человека предельно суженное настоящее – это наносекундное переживание, фиксируемое с большим трудом; для элементарных частиц – очень малые промежутки, которые для Галактики возрастают до сотни тысячи лет, а в больших системах будут еще более значительными;

3) **одномерность времени**, проявляющаяся в линейной последовательности событий, генетически связанных между собой. Если для определения положения тела в пространстве необходимо задать три координаты, то для определения времени достаточно одной. Общие свойства пространства и времени проявляются на всех структурных уровнях организации материи. У некоторых классов материальных объектов проявляются дополнительные, локальные свойства пространства и времени.

Так, в макромире все материальные тела имеют конкретные пространственные формы, размеры, скорости перемещения и т.д. Все тела и процессы имеют конкретную длительность своего существования.

Также у тел проявляются разные виды симметрии или асимметрии. В целом пространству присуще свойства изотропности и однородности. Изучение пространства и времени имеет интерес в социальном и биологическом пространстве и времени, гипотезы о природе времени.

2.6. Термодинамика

Раздел физики, в котором изучаются общие свойства макроскопических систем, связанных с тепловым движением частиц (атомов, молекул и др.) в условиях теплового равновесия, называется **термодинамикой**. Термодинамика первоначально возникла как наука о превращениях теплоты в работу. Однако законы, лежащие в основе термодинамики, имеют настолько общий характер, что в настоящее время термодинамические методы с большим успехом применяются для исследования численных физических и химических процессов и изучения свойств веществ и измерения.

В классической термодинамике изучаются взаимные превращения различных видов энергии, связанные с теплотой и работой. При этом в термодинамике используются два метода исследования: метод круговых процессов и метод термодинамических функций. Классическая термодинамика базируется на трёх началах термодинамики (законы). Первое начало (закон) устанавливает количественные соотношения, имеющие место при превращениях энергии из одних видов в другие. Второе начало (закон) определяет условия, при которых возможны эти превращения, т. е. определяет возможные направления процессов.

2.6.1. Термодинамические системы и параметры

Объектом изучения в термодинамике, как и в механике являются физические тела. Совокупность макроскопических тел, которые могут взаимодействовать между собой и с другими телами (внешней средой) – обмениваться с ними энергией и веществом, **называются термодинамической системой**. Тепловое состояние системы характеризуется параметрами: давлением p , температурой T , объемом V и другими, которые называются термодинамическими параметрами.

Если состояние системы при $T=\text{const}$ не меняется во всех ее частях со временем, то такое состояние называется равновесным. При равновесном состоянии внутри системы не происходит перенос массы, энергии и импульса.

Изменение состояние системы, связанное с изменением ее параметров, называется **термодинамическим процессом**.

Процесс называется равновесным, если все параметры системы меняются физически бесконечно медленно так, что система все время находится в равновесном состоянии. Например, рассмотрим цилиндр с подвижным поршнем, под которым находится газ.

Если поршень нагружать постепенно, по одной штуке, песчинками, то параметры: давление P , объем V и температура T газа будут меняться бесконечно малыми величинами так, что последующее состояние газа не отличается от предыдущего. Обратный процесс, т.е. постепенно убираем песчинки, также будет равновесным. На диаграмме P - V кривая процесса выглядит в виде (рис. 2.8). Если параметры системы меняются скачком, то процесс необратимый (рис. 2.9).

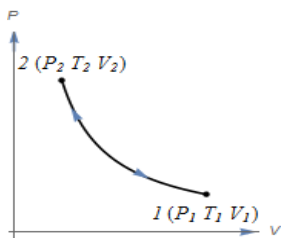


рис. 2.8

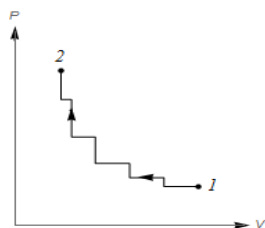
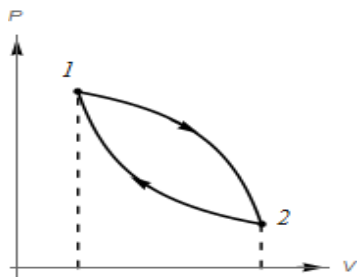


рис. 2.9

Если в термодинамической системе процесс протекает при постоянной температуре $T=\text{const}$, то он называется **изотермическим**; при постоянном объеме $V=\text{const}$ – **изохорным**; при постоянном давлении $p=\text{const}$ – **изобарным**.

Если термодинамическая система не обменивается количеством теплоты с внешней средой, то называется **адиабатным процессом**.

Тела или вещества, не входящие в данную систему, называется внешними (внешние среды). Если термодинамическая система не обменивается веществом с внешней средой, но обменивается энергией, то называется **закрытой**. **Изолированная система** – это система, которая не обменивается с внешней средой ни энергией, ни веществом.



процесс называется обратимым, если процесс перехода системы из одного состояния в другое допускает возможность возвращения ее в первоначальное состояние так, чтобы в окружающей ее среде не остались никакие изменения. Это идеализированная система, которая в природе не реализуется. Если процесс не удовлетворяет вышеуказанному условию, то называется необратимым. Все процессы в природе необратимы, так как на систему всегда действуют силы трения, сопротивления, а так же имеет место диффузия, которые нельзя исключить. Примером обратимого процесса могут быть колебания маятника в вакууме. Обратимые процессы должны возникать, если внутри системы параметры меняются бесконечно медленно так, что система все время находится в равновесном состоянии. Если система после ряда изменений своего состояния приходит в первоначальное состояние, то такой процесс называется круговым (см. рис.2.10). Круговые процессы реализуются в тепловых и холодильных машинах.

2.6.2 Внутренняя энергия, количество теплоты. Первое и второе начал термодинамики

Под внутренней энергией системы подразумевается та часть энергии, которая изменяется только при тепловых и химических процессах. Внутренняя энергия U любой системы представляет собой:

1. кинетическая энергия беспорядочного движения молекул вещества (поступательное, вращательное и колебательное движения атомов);
2. потенциальная энергия взаимодействия молекул;
3. энергия электронных оболочек атомов и ионов;
4. энергия движения и взаимодействия нуклонов в ядрах (ядерная энергия).

Процесс передачи энергии от одной системы другой за счет беспорядочного движения молекул или излучения называется **теплопередачей**.

Количество энергии, переданное системой без изменения ее внешних параметров за счет теплопередачи, называется **количеством теплоты Q [Дж]**.

Количество энергии, переданное системой с изменением ее внешних параметров, при которых происходит изменение движения системы, называется **работой A** [Дж].

В отличие от энергии количество теплоты Q , а так же работа A не являются функцией состояния системы. Поэтому нельзя говорить об изменении работы и количества теплоты. Количество теплоты сообщается, передается системе.

Первое начало термодинамики формулируется: **количество теплоты, сообщаемое системе, затрачивается на изменение внутренней энергии системы и совершение системой работы над внешними телами:** $Q = \Delta U + A = U_2 - U_1 + A$

или в дифференциальной форме $\delta Q = dU + \delta A$, где δQ – бесконечно малое количество теплоты;

dU – бесконечно малое изменение внутренней энергии;

δA – бесконечно малая работа, совершенная системой.

Первое начало так же формулируется следующим образом: **«невозможно создать вечный двигатель первого рода, т. е. такой двигатель, который совершает работу, не заимствуя энергию извне»**. В данном случае нарушается закон сохранения энергии, коим является первое начало термодинамики.

Второе начало термодинамики

Первое начало термодинамики по существу является законом сохранения энергии и не может указать направление процесса. Например, камень массой m падает с высоты h на Землю. Ясно, что потенциальная энергия $W_n = mgh$ переходит в тепловую после падения камня, т. е. $mgh = Q$. Однако, если лежащему на Земле камню сообщаем количество теплоты, равное потенциальной энергии, т. е. $Q = mgh$, то камень самопроизвольно не может подняться на высоту h , хотя выполняется закон сохранения энергии. Можно привести множество примеров, которые показывают невозможность объяснения необратимых процессов физических явлений с помощью первого начала термодинамики.

Первое начало термодинамики не налагает никаких ограничений на возможность перехода теплоты в работу и обратно.

Карно показал, что превращение теплоты в работу подвержено ограничением: необходимым условием такого превращения является

разность температур, и чем она больше, тем большая доля теплоты может превратиться в работу.

Из вышесказанного следует, что необходимо было расширить теорию термодинамики, которая смогла бы объяснить необратимые процессы. Таким законом является второе начало термодинамики. Оно является фундаментальным законом природы, охватывает многочисленные явления окружающего нас мира и имеет глубокие практические и философские последствия. Например, при конструировании оптимальных систем (тепловых, холодильных машин и др.) необходимо учитывать ограничения, накладываемые этим законом.

Существует несколько формулировок второго начала термодинамики.

1. Формулировка Сади Карно (1824 г.). **Теплота не переходит самопроизвольно от холодного тела к горячему.**

2. В. Томсона (1851 г.). **В природе невозможны процессы, единственным следствием которых был бы подъем груза, произведенный за счет охлаждения теплового резервуара, т. е. нельзя полученную от нагревателя теплоту полностью превращать в работу.**

3. В. Оствальда. **Невозможно создать вечный двигатель второго рода, т. е. такой двигатель, который, получая теплоту от нагревателя, полностью превращал бы ее в работу.**

Такая машина принципиально состояла бы из двух элементов: нагревателя (источника энергии) и рабочего вещества. Поскольку, например, океан является источником бесконечной энергии, то машина, работающая за счет теплоты океана, была бы вечной.

Как известно, чтобы любая тепловая машина совершала полезную работу, необходимо, чтобы она состояла как минимум из трех элементов: нагревателя (теплоотдатчик), рабочего вещества и холодильника (теплоприемник) (рис. 2.11.). Рабочее вещество, контактируя с нагревателем (источником энергии), получает количество теплоты Q_1 .

При этом происходит изотермическое расширение ($T_1 = \text{const}$). Затем адиабатическим расширением передает часть количе-

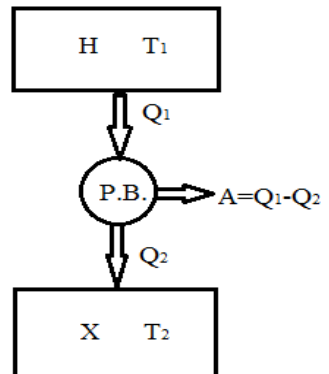


Рис.2.11.

ства теплоты Q_2 , совершая работу $A = Q_1 - Q_2$. При этом (рабочее вещество) контактирует с холодильником. После этого изотермически – адиабатным сжатием рабочее вещество переходит к нагревателю. Происходит круговой цикл. Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины определяется формулой

$$\eta_p = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (2.11)$$

КПД любой тепловой машины всегда меньше 1, т. е. $\eta_p < 1$. Например, для паровоза $\eta_p \approx 8 - 10\%$, а дизельной машины $\eta_p \approx 25 - 28\%$.

2.6.3. Цикл Карно. КПД цикла Карно

Основоположник термодинамики Сади Карно, исходя из рассмотренного им общего принципа получения движения из теплоты, в 1824г. предложил цикл для идеальной тепловой машины, состоящей из двух изотерм и двух адиабат. Этот цикл сыграл огромную роль в развитии термодинамики и теплотехники. Его теоретический анализ дал возможность усовершенствовать тепловые машины и повысить их КПД. Прямой цикл состоит из следующих четырех последовательных процессов (рис.2.12): 1-2 – изотермическое расширение при температуре T_1 (нагревателя); 2-3 – адиабатное расширение ($Q_{23}=0$); 3-4 – изотермическое сжатие, при температуре холодильника T_2 ; 4-1 – адиабатное сжатие ($Q_{41}=0$). КПД машины, работающей по циклу Карно, равен

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Таким образом КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя T_1 и холодильника T_2 и не зависит от природы рабочего вещества.

Тепловая машина, работающая по циклу Карно, является наилучшей и никакая

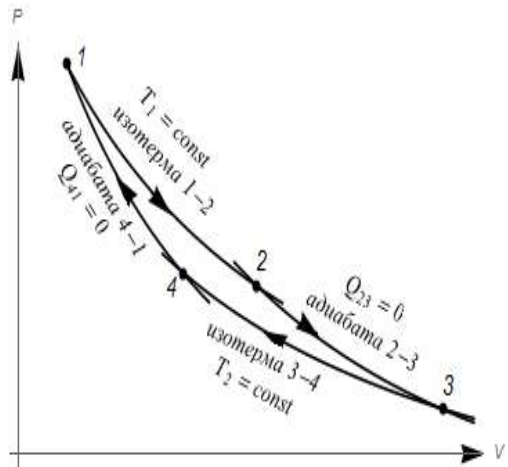


Рис. 2.12

другая машина при тех же температурах не может дать большего количества работы. Тем не менее, КПД машины по циклу Карно всегда меньше единицы ($\eta_p < 1$). Например, если $T_1=373\text{K}$ (температура кипения воды) и $T_2=273\text{K}$ (температура замерзания воды), то

$$\eta_u = \frac{373 - 273}{373} 100\% \approx 26,8\%.$$

Как известно, КПД η_p реальной тепловой машины, определяемой формулой (2.11) из-за потери количества теплоты на трение, нагрев деталей и на окружающую среду, всегда меньше, чем КПД идеальной машины, работающей по циклу Карно, т.е. $\eta_p < \eta_u$.

2.6.4. Понятие энтропии

В термодинамике для описания тепловых свойств системы не достаточно пользоваться одной функцией — внутренней энергией U , поскольку при одинаковой внутренней энергии возможны различные процессы. Поэтому кроме внутренней энергии, используют другие термодинамические функции; энтропия, энтальпия и др. Особое место среди них занимает энтропия, т. к. она в качестве параметра входит во внутреннюю энергию $U(S, V)$, энтальпию $H(S, P, V)$, свободную энергию $F(S, P, V)$ и др.

Рассмотрим изолированную термодинамическую систему. В такой системе, казалось бы, возможны любые процессы, в ходе которых сохраняется внутренняя энергия. Однако, это не так. Дело в том, что различные состояния, отвечающие одной и той же энергии, обладают разной вероятностью. Например, пусть изолированная система состоит из горячего и холодного тел. Со временем будет протекать теплопередача, приводящая к выравниванию температуры внутри системы. После этого состояния системы при постоянной температуре будет оставаться неограниченно долго. Однако, обратный процесс, т.е. самопроизвольное разделение на горячее и холодное тела невозможно, хотя внутренняя энергия не изменится.

Другой пример. В сосуде, разделенной на две части перегородкой находятся два сорта газа: один в левой, а второй в правой части перегородки. Если уберем перегородку, то через некоторое время будет происходить перемешивание газов из-за диффузии, обусловленной

тепловым движением молекул. Первоначальное состояние сразу после удаления перегородки – маловероятное, упорядоченное, а после смешивания газов состояние станет более вероятным, беспорядочным. Однако газы самостоятельно не могут разделиться по сортам, т.е. не могут вернуться самопроизвольно в первоначальное состояние в момент удаления перегородки, хотя в обоих случаях энергия одна и та же.

Можно привести множество примеров состояний системы, зависящих от вероятности при постоянной энергии. Поэтому для того, чтобы определить, какие процессы могут протекать в изолированной системе, нужно знать вероятность различных состояний этой системы. Величина, характеризующая вероятность состояний системы, **называется энтропией.**

Понятие энтропии впервые ввел Клаузиус в 1866г. из соображения, что $\frac{\delta Q}{T} = dS$,

где S – энтропия, [$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$], а dS – полный дифференциал.

Энтропия, как и внутренняя энергия, характеризуется параметрами T, V, P , т.е. $S = S(T, V)$; $S = S(T, P)$; $S = S(P, V)$.

Энтропия есть функция состояния системы, определяемая вероятностью состояний и характеризующая направление протекания самопроизвольных процессов в изолированной системе.

Больцман энтропию связал с термодинамической вероятностью формулой $S = k \cdot \ln(\Omega)$, где k -постоянная Больцмана, Ω -статистический вес, характеризующий число микросостояний, посредством которого осуществляется данное макросостояние.

Изменение энтропии системы определяется формулой:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

В изолированной системе для обратимого процесса изменение энтропии $\Delta S=0$ или $S_1=S_2=\text{const}$.

При необратимом процессе $\Delta S>0$, т.е. $S_1<S_2$ энтропия возрастает. Здесь S_1 - энтропия системы в начальном состоянии; S_2 - энтропия системы в конечном состоянии.

Если рассмотрим второй пример с двумя сортами газа, то S_1 -

соответствуют состоянию газов сразу после удаления перегородки (упорядоченное и менее вероятное состояние), а S_2 - энтропия смешанных газов (беспорядочное и более вероятное состояние). Поэтому энтропия характеризует степень беспорядка. Чем больше беспорядок, тем больше энтропия и наоборот.

Используя понятие энтропии можно сформулировать второе начало термодинамики.

Энтропия изолированной термодинамической системы может только возрастать и по достижению максимального значения оставаться постоянной, т.е.

$$\Delta S \geq 0,$$

где равенство ($=$) соответствует обратимому процессу, неравенство ($>$) – необратимому процессу.

При адиабатном процессе ($\Delta Q=0$) энтропия системы остается постоянной и поэтому называется **изоэнтропийным процессом** ($S = \text{const}$).

Рассмотрим цикл Карно на диаграмме TS (рис. 2.13).

Участок 1-2 – соответствует изотермическому расширению ($T_1 = \text{const}$), при котором изменение внутренней энергии равно нулю $dU_{12}=0$, энтропия растет $S_2 > S_1$.

Участок 2-3 – соответствует адиабатному расширению, при котором $\delta Q_{23}=0$ и энтропия остается постоянной, $S_2=\text{const}$.

Участок 3-4 – соответствует изотермическому сжатию ($T_2=\text{const}$) и энтропия системы уменьшается $S_1 < S_2$.

Участок 4-1 – соответствует адиабатному сжатию $\delta Q_{41}=0$ и постоянной энтропии $S_1=\text{const}$.

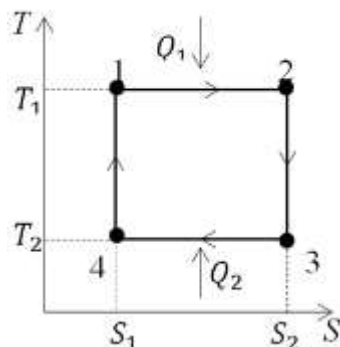


Рис.2.13

2.6.5. Пределы применимости второго начала термодинамики. Критика теории «Тепловой смерти Вселенной»

Из второго начала термодинамики следует, что

$$\Delta S > 0. \tag{2.12}$$

При этом в изолированной системе процессы прекращаются при достижении максимального значения энтропии (термодинамического равновесия).

Во второй половине XIX в. Клаузиус и другие ученые на основе $\Delta S > 0$ выдвинул гипотезу о так называемой «тепловой смерти Вселенной». Клаузиус сформулировал так: **«Энергия замкнутой Вселенной остается постоянной, а энтропия стремится к максимуму»**. Это значит, что Вселенная рано или поздно придет в состояние термодинамического равновесия. Тогда все процессы прекратятся и мир погрузится в состояние тепловой смерти, а температура во всех местах Вселенной будет одной и той же и все интенсивные факторы выровняются и больше уже не будет причин, способствующих возникновению каких бы то ни было процессов.

В чем ошибочность утверждения о тепловой смерти Вселенной?

Опыты показывают, что второе начало термодинамики имеет ограниченную применимость и не является абсолютным законом природы, т.е. существуют границы применимости второго начала термодинамики.

1. Нижняя граница применимости второго начала. Оно неприменимо к микросистемам, размеры которых сравнимы с размерами молекул, кластеров, наносистем. В таких системах стирается различие между теплотой и работой.

2. Верхняя граница применимости. Исходное положение термодинамики о тепловом равновесии, о переходе изолированной системы в равновесное состояние и закон возрастания энтропии в таких системах являются результатом обобщения земных макроскопических опытов.

В случае систем галактических, мегагалактических размеров определяющую роль играют в их временной эволюции гравитационные силы взаимодействия между частицами, темная энергия. Во-первых, в таких системах возникают флуктуации, которые нарушают термодинамическое равновесие, во-вторых, энергия взаимодействия микроскопических частей системы становится сравнимой с их внутренними энергиями, так что система в целом не является термодинамической.

Гипотезу о флуктуации Вселенной выдвинул Больцман в конце XIX в. на основе статистической природы второго начала термодина-

мики. По Больцману в равновесной системе всегда самопроизвольно могут возникнуть большие флуктуации. Он пришел к выводу, что Вселенная находится в состоянии термодинамического равновесия, но в ней могут возникнуть большие флуктуации. Такой огромной флуктуацией является та часть Вселенной, в которой мы находимся. Всякая флуктуация должна исчезнуть, но столь же будут возникать флуктуации в других местах Вселенной. Поэтому, по Больцману, одни миры погибают, а другие возникают.

Недостатки флуктуационной теории Вселенной Больцмана заключаются в том, что он не учел гравитационное взаимодействие, которое играет существенную роль в масштабах Вселенной.

Эйнштейн, учитывая гравитацию, создал общую теорию относительности (ОТО), описывающую эволюцию расширяющейся Вселенной. По Эйнштейну для Вселенной не существует состояния максимальной энтропии. Поэтому энтропия Вселенной в каждой ее области может возрастать неограниченно без того, чтобы Вселенная приближалась к состоянию с максимальной энтропией.

2.6.6. Термодинамика неравновесных систем. Синергетика.

Раздел термодинамики, изучающий системы вне состояния **термодинамического равновесия и необратимые процессы, называется неравновесной термодинамикой.**

Возникновение этой области знания, связано с тем, что подавляющее большинство встречающихся в природе систем находятся вдали от термодинамического равновесия.

Необходимость в создании новой теории возникла в первой половине 20-го века. Пионером в этом направлении является Ларс Онзагер. В 1931 году он опубликовал две работы, посвященные неравновесной термодинамике. В дальнейшем значительный вклад в развитие неравновесной термодинамики внесли Экарт, Майснер и Райк, А.Н. Зубарев, И. Пригожин и другие.

Основоположник классической неравновесной термодинамики И. Пригожин отметил, что в теоретической химии и физике возникло новое направление, в котором важную роль будут играть термодинамические концепции. Задачей новой науки является доказательство того факта, что неравновесие может быть причиной порядка.

До недавнего времени физическая наука обходилась равновесной термодинамикой. Предметом этой дисциплины являются, процессы преобразования энергии, протекающие в замкнутых системах, состояния которого близко к термодинамическому равновесию. При этом равновесная термодинамика устанавливает общие закономерности квазистатических процессов, не раскрывая их молекулярного механизма. При анализе нестационарных процессов классическая термодинамика указывает лишь количественные выводы. Поэтому необходимо было создать макроскопическую теорию необратимых процессов.

Известно большое число необратимых процессов, закономерности которых феноменологически (экспериментально) выражаются линейными соотношениями между причиной и следствием. Таковыми являются теплопроводность, диффузия, вязкость, закон Ома и др.

Теплопроводностью называется, процесс передачи теплоты при наличии градиента температуры и обусловленный тепловым движением молекул (частиц).

Градиентом температуры называется, векторная величина, характеризующая быстроту изменения температуры при изменении координат и направленная в сторону увеличения температуры.

Если два или более процессов протекают одновременно, они налагаются друг на друга, то вызывают появление нового эффекта. Например, от наложения теплопроводности и электропроводности появляется термоэлектричество; от наложения диффузии и теплопроводности появляется термодиффузия и т.д. Математически эти эффекты описываются путем прибавления дополнительных членов в соответствующие феноменологические уравнения.

Обобщая классическую термодинамику и закономерности линейной пропорциональности при известных необратимых явлениях, Онзагер получил соотношение взаимности, описывающее характеристики соответствующих необратимых явлений (например, градиенты температуры, концентрации, скорости и др.).

Смысл соотношения заключается в следующем. Имеется некоторая симметрия во взаимодействии различных процессов. Например, если градиент температуры вызывает градиент концентрации, то возможен обратный процесс, т.е. градиент концентрации при процессе порождает градиент температуры.

Дальнейшее развитие теории Онзагера получило в работах И. Пригожина и его учеников.

В 1947г. И. Пригожин установил, что в открытой системе, не слишком удаленной от равновесия, стационарные процессы характеризуются минимумом возникновения энтропии, т.е. стационарное состояние системы, в которой происходит необратимый процесс, характеризуется тем, что скорость возникновения энтропии имеет минимальное значение при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния. Из принципа Пригожина о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии следует, что при установлении в системе стационарного состояния внутренние равновесные процессы в ней действуют в направлении, вызывающем понижение величины ежесекундного прироста энтропии. И когда система находится в стационарном состоянии, то она не может из него выйти путем самопроизвольного необратимого изменения. Если же в результате флуктуации она вышла из этого состояния, то в системе возникнут внутренние потоки, которые вернут ее в начальное состояние. Это указывает на устойчивость стационарного состояния.

В общем случае производство энтропии необратимыми процессами обусловлено, как внутренними превращениями (химические реакции, релаксационные явления) так и явлениями переноса (энергии, импульса, массы, электрического заряда и т.д.).

2.6.7. Синергетика. Рождение порядка из хаоса

Понятие хаоса играло немаловажную роль на протяжении всей истории развития человеческой мысли. С хаосом связывались представления о гибельном беспорядке. Такое представление является наиболее распространенным и в обыденной жизни. Тем не менее, идея первичного хаоса, из которого потом все родилось, так же достаточно распространена в древних мифах, в восточной философии, в учениях древних греков. В учении Платона встречаемся с мыслью о превращении изначального хаоса в космос, о возникновении из него жизнедеятельности. Эти представления очень созвучны современному развитию естествознания. Начиная с 70-х годов XX века, бурно развивается направление, называемое синергетикой, в фокусе внимания которого

оказываются сложные системы с самоорганизующимися процессами, системы, в которых эволюция протекает от хаоса к порядку, от симметрии ко все возрастающей сложности.

Синергетика – это содружество, коллективное поведение, т.е. направление в науке, связанное с изучением закономерностей пространственно-временного упорядочения в разнообразных системах. Термин „Синергетика“ ввёл Хакен в начале 70-х годов. Он отражает тот факт, что процессы упорядочения в макроскопической системе возникают благодаря взаимодействию большого числа элементарных подсистем. Возникновение синергетики как самостоятельного направления связано с тем, что поведение разнообразных физических, химических, биологических других систем описывается сходными математическими моделями и для таких систем характерны одни и те же явления самоорганизации.

Это позволяет широко использовать результаты исследования одних объектов при анализе других. Например, математическая модель Колмогорова и др., исследованная в 1937 г. в связи с биологической проблемой распространения популяции на некоторой территории, была использована при анализе закономерностей фронта горения, распространения возбуждения в сердечной ткани и др.

Возникновение синергетики обязано выдающимся достижениям неравновесной термодинамики, сделанной Пригожиным. Пригожиным было показано, что в неравновесных открытых системах возможны эффекты, приводящие не к возрастанию энтропии и стремлению термодинамических систем к состоянию равновесного хаоса, а к самопроизвольному возникновению упорядоченных структур, к рождению порядка из хаоса.

Процессы, протекающие в различных явлениях природы, следует разделять на два класса. К первому классу относятся процессы, протекающие в замкнутых системах. Они развиваются в направлении возрастания S и приводят к установлению равновесного состояния в системах. К второму классу относятся процессы, протекающие в открытых системах. В соответствующие моменты (моменты неустойчивости) в них могут возникать малые возмущения, флуктуации, способные разрастаться в макроструктуры. Таким образом, хаос и случайности в нём могут выступать в качестве активного начала, приводящего к развитию новых самоорганизаций.

Одним из важнейших результатов, полученных Пригожиным, является новый подход к анализу сложных явлений. **Во-первых**, в самоорганизующейся системе нельзя навязать путь развития. **Во-вторых**, для самоорганизующихся систем существует несколько различных путей развития. В равновесном или слабо равновесном состоянии в системе существует только одно стационарное состояние, которое зависит от некоторых управляющих параметров. Изменение этих параметров будет увести систему из равновесного состояния.

В конце концов, вдали от равновесного состояния, система достигает некоторой критической точки, называемой точкой бифуркации. Начиная с этого момента, на дальнейший ход эволюции системы могут оказывать воздействия даже ничтожно малые флуктуации, которые в равновесном состоянии системы попросту неразличимы. Поэтому невозможно точно предсказать, какой путь развития выберет система за порогом бифуркации.

2.6.8. Самоорганизация в живой и неживой природе

Классификация, моделирование и кибернетическая систематизация явлений – объектов и процессов в живой и неживой природе, изучение их структуры привели к понятию адаптивной или самоприспосабливающейся системы.

Эти системы сохраняют работоспособность при неопределенных изменениях свойств управляемого объекта и окружающей среды. Развитой способностью к адаптации обладают все живые организмы; у большинства систем автоматического управления предусмотрена возможность приспосабливаться в определенных пределах к изменяющимся условиям функционирования.

По способу адаптации различают самонастраивающиеся, самообучающиеся и самоорганизующиеся системы. В самонастраивающихся системах накопление опыта (запоминание информации) в изменении значений тех или иных параметров.

В самоорганизующихся системах – в изменении структуры самой системы. Запоминание информации в кибернетических системах может производиться двумя способами – либо за счет изменения структуры системы, либо за счет изменения состояний элементов системы.

В большинстве случаев это различие зависит от принятого подхода к описанию системы. Между этими двумя видами памяти, по существу, нет принципиального различия. В большинстве случаев это различие зависит от принятого подхода к описанию системы. Например, одна из современных теорий объясняет долговременную память человека изменениями проводимости синаптических контактов, т.е. связей между отдельными составляющими мозг нейронами.

Если в качестве элементов, составляющих мозг, рассматриваются лишь сами нейроны, то изменение синаптических контактов следует рассматривать как изменение структуры мозга.

Самонастройка связывается, обычно, с изменениями небольшого числа непрерывных параметров системы. В случае же глубоких изменений структуры программ, которые можно трактовать как изменения состояний большого числа дискретных элементов памяти, то их нужно рассматривать как пример самоорганизации.

Развитие механической картины мира было обусловлено в основном развитием механики термодинамики. Успех механики Ньютона, а также термодинамики в значительной мере способствовали абсолютизации ньютоновских представлений, что способствовало все многообразие явлений природы к механической форме движения материи. Такая точка зрения получила название механицизма, т.е. механистического материализма.

Однако развитие физики показало несостоятельность классического механицизма, поскольку описать тепловые, электромагнитные явления с помощью законов механики и термодинамики не было возможности. В результате в XIX в. в физике наступил кризис. Необходимо было, что физика нуждалась в существенном изменении своих взглядов на мир.

Оценивая механическую картину мира как один из этапов развития физической картины мира, необходимо иметь в виду, что с развитием науки основные положения механической картины мира не были отброшены. Развитие науки лишь раскрыло относительный характер механической картины мира. Несостоятельной оказалась не сама механическая картина мира, а ее исходная философия – механицизм. В недрах механической картины мира стала складываться элементы новой электромагнитной картины мира.

Контрольные вопросы к главе 2

1. Что изучает физика? Перечислите виды материи.
2. Опишите основные характеристики кинематики: материальная точка, система отсчёта, траектория, путь, вектор перемещения.
3. Что называется инерциальной системой отсчёта? Для чего она введена?
4. Сформулируйте законы Ньютона и приведите применения этих законов.
5. Перечислите сохраняющиеся величины и с чем они связаны?
6. Сформулируйте закон сохранения импульса и применение его.
7. Перечислите виды энергии в природе и приведите примеры.
8. Сформулируйте закон сохранения механической энергии и его применения на практике.
9. Запишите формулы потенциальной энергии тела, находящегося в различных физических полях.
10. Сформулируйте принцип относительности и преобразования Галилея.
11. Запишите следствия преобразований Галилея.
12. Сформулируйте постулаты Эйнштейна для СТО. В чём отличие принципы относительности Галилея и Эйнштейна?
13. Запишите преобразования Лоренца.
14. Запишите формулы относительностей одновременности, событий и замедления времени.
15. Опишите смысл преобразований скоростей и инвариантность законов механики.
16. Расскажите взаимосвязь энергии и массы.
17. Опишите смысл общей теории относительности (ОТО).
18. Приведите примеры, доказывающие правильность ОТО.
19. Что изучает термодинамика?
20. Дайте определения термодинамических систем и параметров.
21. Сформулируйте первый закон термодинамики.
22. Что называются внутренней энергией и количество теплоты?
23. Сформулируйте второй закон термодинамики.
24. Поясните цикл Карно и запишите КПД цикла Карно.
25. Почему недостижимо $\text{КПД}=1$?
26. Опишите понятие энтропии. В чём важности её?

27. Сформулируйте второе начало термодинамики.
28. В чём ошибка тепловой смерти Вселенной?
29. Охарактеризуйте термодинамику неравновесных систем и синергетику.
30. В чём заключается самоорганизация в живой и неживой природе?

ГЛАВА 3. Электромагнитная картина мира

На протяжении XIX в. продолжались попытки объяснить электромагнитные явления в рамках механической картины мира. Но это оказалось невозможным: электромагнитные явления слишком отличались от механических процессов. После создания теории электромагнитного поля стало возможным говорить о электромагнитной картины мира. Теория электромагнитного поля Максвелла ознаменовала начало нового этапа в физике. В соответствии с этой теорией мир стал представляться единой электродинамической системой, построенной из электрически заряженных частиц, взаимодействующих посредством электромагнитного поля.

Новая картина мира требовало нового решения проблемы физического взаимодействия. Ньютоновский принцип дальнего действия заменялся принципом ближнего действия, который утверждал, что любые взаимодействия передаются полем от точки к точке непрерывно и с конечной скоростью.

Концепция абсолютного пространства и времени не подходила к новым полевым представлениям о материи, так как поля не имеют четкой границы и перекрывают друг друга. Кроме того, поля – это абсолютно непрерывная материя, поэтому пустого пространства нет. Так же время должно быть неразрывно связано с процессами, происходящими в поле. Кроме того, по электромагнитной картине мира пространство заполнено эфиром. В последствии экспериментально было доказано, что эфира не существует. Ниже рассмотрим некоторые законы и явления электромагнетизма.

3.1 Электрический заряд. Закон Кулона

Электростатика – это раздел электродинамики, в котором изучаются теория электростатического поля и взаимодействие неподвижных электрических зарядов.

Электрический заряд. Известно, что в природе существуют два рода электрических зарядов, условно называемые положительным и отрицательным. Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные – притягиваются. Также известно, что в природе встречается за-

ряд с наименьшим значением, называемый **элементарным**. Приближенно он равен $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Положительный элементарный заряд обозначим $+e$, а отрицательный $-e$. Тогда заряд любого заряженного тела может быть определен величиной $q = Ne$, где N – количество элементарных зарядов.

Таким образом, электрический заряд любого заряженного тела изменяется не непрерывно, а дискретно, т.е. порциями. Минимальная порция изменения заряда тела равна элементарному заряду e . Если физическая величина может принимать только определенные дискретные значения, то говорят, что эта величина квантована.

Следовательно, электрический заряд квантован. Заряды могут исчезать и возникать вновь. Однако всегда возникают и исчезают два элементарных заряда противоположных знаков. Например, при аннигиляции (встрече) электрон и позитрон (антиэлектрон) превращаются в два нейтральных гамма-фотона: $+e + -e \rightarrow 2\gamma$, т.е. происходит исчезновение зарядов. Если γ -фотон с большой энергией ($\sim 1,02$ МэВ) попадает в поле атомного ядра, то образуется пара частиц (электрон и позитрон), т.е. $\gamma \rightarrow +e + -e$ (рождение заряженных частиц).

Для электрически заряженных частиц выполняется закон сохранения зарядов: в **электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов не изменяется при любых процессах, происходящих в этой системе**, т.е.

$$\sum_i q_i = \text{const} .$$

Поэтому в любом теле количество положительных зарядов равно количеству отрицательных, и тело электрически нейтрально. Наша Вселенная также электрически нейтральна.

Закон Кулона. В 1785 г. Кулон экспериментально установил закон взаимодействия электрических зарядов.

Сила электростатического взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов, находящихся в среде прямо пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами и направлена вдоль соединяющей их прямой:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} ,$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ ф/м}$ - электрическая постоянная.

3.2. Электрическое поле. Напряженность и силовые линии электрического поля

Напряженность электрического поля. По теории близкодействия взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется через *электрическое поле*. Каждый электрический заряд вокруг себя создает электрическое поле, которое взаимодействует с другим зарядом, помещенным в это поле. Электрическое поле – это вид материи. Переносчиками электрического поля являются фотоны, которыми заряды виртуально обмениваются между собой.

Для обнаружения и исследования электрического поля нужно воспользоваться некоторым **«пробным»** зарядом.

Электрическое поле, созданное неподвижными и не изменяющимися со временем зарядами, называется *электростатическим*. В дальнейшем будем рассматривать электростатическое поле.

Количественными характеристиками электрического поля являются *напряженность* (\vec{E}) и *потенциал* (φ). Напряженность – силовая характеристика, а потенциал – энергетическая.

Напряженностью \vec{E} точки электрического поля называется векторная величина, равная отношению силы, действующей на пробный положительный точечный заряд q_0 , помещенный в точку поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad [E]=\text{В/м.}$$

Силовые линии. Геометрической характеристикой электрического поля являются силовые линии.

Силовой линией электрического поля называется линия, прове-



Рис. 3.1.

денная в электрическом поле, в каждой точке которой касательная совпадает с вектором напряженности (рис. 3.1). В природе силовых

линий не существует. Силовые линии обладают следующими свойствами:

1. **Силовые линии** между собой не пересекаются.

2. **Силовые линии** электростатического поля – незамкнутые. Они исходят от положительного заряда и заканчиваются на отрицательном, либо уходят в бесконечность, либо приходят из бесконечности (3.2).

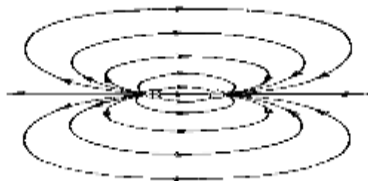


Рис.3.2

3.3. Электрический потенциал. Разность потенциалов

Выше рассмотрели силовую характеристику электрического поля – напряженность электрического поля. Другой характеристикой электрического поля является электрический потенциал.

Потенциалом точки электростатического поля называется скалярная величина, равная отношению потенциальной энергии W_n заряда, помещенного в точку поля, к величине этого заряда q , т.е.

$$\varphi = \frac{W_n}{q} \quad [\text{Дж/Кл} = \text{В}].$$

Единица измерения потенциала – вольт [В].

Пример расчета потенциала

Потенциал точки поля, создаваемого точечным зарядом q .

Пусть точечный заряд q создает электрическое поле, нужно найти в любой точке A поля потенциал (рис. 3.4.).

Сначала найдем напряженность E , которая равна $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$.

Тогда потенциал определяется $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$.

Важной характеристикой электрического поля является разность потенциалов, с помощью которой можно рассчитать емкость конденсаторов.

Разностью потенциалов между двумя точками электростатического поля называется скалярная физическая величина, равная отношению работы, совершаемой силами электростатического поля по перемещению пробного точечного положительного заряда q из одной

точки в другую, к величине этого заряда, т.е. $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$ [В] Разность потенциалов между двумя заряженными параллельными плоскостями (плоский конденсатор).

Две параллельные заряженные плоскости с поверхностными плотностями зарядов $+\sigma$ и $-\sigma$ находятся на расстоянии d друг от друга (рис. 3.3).

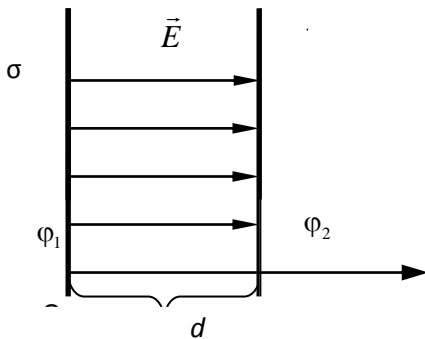


Рис. 3.3.

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между пластинами определяется формулой

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d .$$

Емкость конденсатора. Уединенные проводники даже больших размеров обладают небольшой емкостью.

Если проводник не уединен, то его емкость будет зависеть от находящихся рядом тел и будет постоянно изменяться в зависимости от положения тел относительно проводника.

В практической деятельности нередко возникает потребность в устройствах, которые обладали бы большой емкостью при небольших размерах, и она не зависела бы от окружающих устройств тел. Такие устройства, являющиеся накопителями энергии, называются конденсаторами.

Конденсатор – это устройство, состоящее из двух параллельно расположенных проводящих пластин, которые называются *обкладками конденсатора* и между которыми расположен диэлектрик. Обклад-

кам придают такую форму, чтобы электрическое поле, создаваемое накопленными на них зарядами (вся энергия), было сосредоточено внутри конденсатора. В соответствии с этой формой конденсаторы бывают плоскими, сферическими и цилиндрическими.

Емкость конденсатора определяют по формуле

$$C = \frac{q}{\Phi_1 - \Phi_2}.$$

Емкость плоского конденсатора равна

$$C = \frac{q\varepsilon_0\varepsilon}{\sigma d} = \frac{S\varepsilon_0\varepsilon}{d},$$

где $S = \frac{q}{\sigma}$ – площадь обкладки конденсатора, d – расстояние между обкладками, ε – диэлектрическая проницаемость вещества.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле:

$$W = \frac{CU^2}{2}, \quad \text{где } U = (\Phi_1 - \Phi_2).$$

Чем обусловлено накопление энергии конденсатора? Поскольку внутри заряженного конденсатора возникает электрическое поле, которое по теории близкодействия является переносчиком энергии. Поэтому носителем энергии является электрическое поле и она вычисляется

$W = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 V$. Тогда объемная плотность энергии электрического поля:

$$w_E = \frac{W}{V} = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right].$$

3.4 Постоянный электрический ток.

3.4.1 Сила тока, плотность тока. Условия существования тока

Если через воображаемую поверхность переносится суммарный электрический заряд, отличный от нуля, то говорят, что через нее течет электрический ток.

Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц (зарядов – дальше по тексту).

Заряженные частицы, участвующие в образовании тока, называются его носителями. Это, например, электроны, положительно заряженные дырки, протоны, ионы и т.д.

Электрический ток может течь в твердых, жидких и газообразных веществах. **В твердых проводниках** носителями тока являются электроны проводимости, образованные за счет валентных электронов атомов.

В полупроводниках – это электроны и дырки, а **в жидких проводниках** – это положительные и отрицательные ионы.

В газах (в частности, в плазмах) носителями тока являются все заряженные частицы: электроны, протоны, α -частицы, ионы и другие.

В технике за направление электрического тока принято **считать направление движения положительных зарядов**.

Для создания электрического тока необходимы следующие условия:

- 1) наличие носителей тока (электрических зарядов);
- 2) наличие электрического поля.

Количественными характеристиками электрического тока являются сила тока и плотность тока.

Силой тока называется скалярная величина, равная количеству заряда, переносимого через воображаемую поверхность за единицу

времени:

$$I = \frac{dq}{dt} \left[\frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А} \right].$$

Единица измерения силы тока – ампер [А].

Количество заряда, переносимого через единицу площади поверхности за единицу времени, называется плотностью тока:

$$j = \frac{dq}{dt dS} = \frac{dI}{dS} \left[\frac{\text{А}}{\text{м}^2} \right].$$

3.4.2 Закон Ома. Электрическое сопротивление.

Однородным называется участок цепи, в котором не происходят ни химические, ни тепловые, ни механические процессы. Рассмотрим неподвижный участок однородного изотропного проводника (рис. 3.4.).

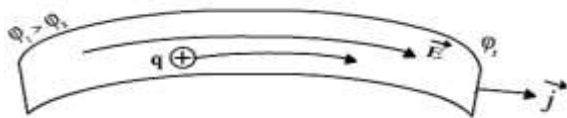


Рис. 3.4

К концам проводника приложим разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$, которая создает электрическое поле \vec{E} . Поскольку внутри проводника имеются носители тока (электроны проводимости), то по проводнику пойдет ток. Опыт показывает, что сила тока пропорциональна разности потенциалов, т.е.

$$I = \Lambda(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (3.1)$$

где Λ – электрическая проводимость. Единица измерения Λ – сименс [См]. Обратная величина Λ , т.е. $R = \frac{1}{\Lambda}$ называется **электрическим сопротивлением**. Единица измерения R – [Ом]. Следовательно, (3.1) можно записать в виде

$$I = \Lambda(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}. \quad (3.2)$$

Впервые зависимость (3.2) установил Ом, и называется законом Ома.

Электрическое сопротивление R зависит от многих факторов: от рода вещества, температуры, геометрических размеров проводника, дефектов, давления, магнитного состояния и др.

Для замкнутой цепи (рис. 3.5.) закон Ома имеет вид

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad \text{где } \mathcal{E} - \text{ электродвижущая сила (ЭДС), } r - \text{ внутреннее}$$

сопротивление источника тока.

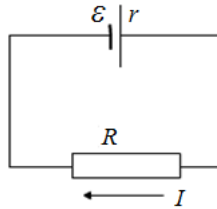


Рис. 3.5.

3.5. Постоянное магнитное поле

3.5.1 Опыты Ампера и Эрстеда. Магнитная индукция

Как известно из электростатики взаимодействие электрических зарядов осуществляется посредством электрического поля.

Исследования Эрстеда и Ампера (1820) показали, что между движущимися зарядами может возникнуть взаимодействие иной природы, не относящееся к электростатическому.

Эрстед заметил, что проводник с током вызывает появление сил, действующих на магнитную стрелку (рис. 3.6).

На рис. 3.6. пунктирной линией показана ориентация магнитной стрелки параллельно проводнику в отсутствие электрического тока и отклонение стрелки относительно проводника в присутствии тока (сплошная). Эрстед дал этому явлению объяснение: проводник с током создает вокруг себя магнитное поле, которое взаимодействует с магнитной стрелкой.

В 1820 г. Ампер провел опыт с двумя параллельными проводниками с током (рис. 3.7.).

На основании опытов Ампер сделал вывод о том, что два параллельных тока притягиваются друг к другу (рис. 3.7, *a*), антипараллельные токи отталкиваются (рис. 3.7, *б*).

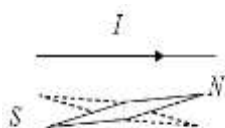


Рис. 3.6.

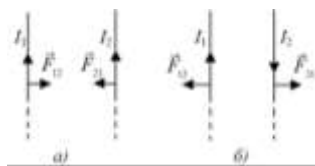


Рис. 3.7.

Из опытов Эрстеда и Ампера следует, что между проводником с током и магнитной стрелкой возникает взаимодействие, которое отличается от электростатического взаимодействия зарядов. В связи с этим возникает вопрос: какова природа взаимодействия токов; изменится ли пространство, если в него внести проводник с током?

По теории близкодействия взаимодействие токов осуществляется через магнитное поле, т.е. любой электрический ток создает вокруг себя магнитное поле. Оно взаимодействует с другим током, помещенным в это поле. Если в пространство вносится проводник с током, то оно изменится, заполнится магнитным полем. Впервые понятие магнитного поля ввел Эрстед в 1820г. Опыт показывает, что магнитное поле создается движущимися зарядами.

Магнитное поле, как и электрическое, это вид материи, являющийся объективной реальностью и существующий вне нашего сознания. Количественной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции \vec{B} , которая измеряется в теслах [Тл].

Опыт показывает, что магнитная индукция \vec{B} зависит от размеров и геометрической формы проводника с током, от расстояния, от среды, где находится ток, от силы тока. Магнитная индукция обладает принципом суперпозиции, который гласит: *результатирующая индукция* \vec{B} магнитного поля, создаваемого несколькими токами, равна векторной сумме индукций полей, создаваемых каждым током, т.е.

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i ,$$

где \vec{B} – индукция магнитного поля, создаваемого i -м током. Для графического изображения магнитного поля вводятся силовые линии.

Силовой линией (линией индукции) называется линия, проведенная в магнитном поле так, что в каждой точке поля касательная к линии совпадает с вектором магнитной индукции (рис. 3.8).



Рис.3.8.

Одно из свойств силовых линий магнитного поля состоит в том, что силовые линии замкнутые. Направление их определяется **правилом буравчика**. Если при ввинчивании поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока, то направление движения рукоятки показывает направление силовых линий (на рис. 3.9, а, б силовые линии – пунктирные). Силовые линии между собой не пересекаются.

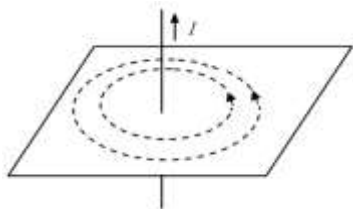
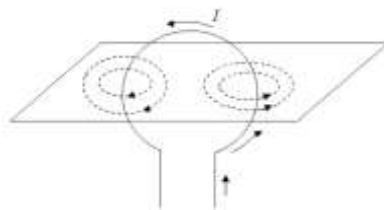


Рис. 3.9. а)



б)

3.5.2 Сила Ампера и сила Лоренца. Эффект Холла

Если проводник с током находится в однородном магнитном поле, то на него со стороны поля будет действовать механическая сила.

Поскольку впервые действие силы на проводник с током в магнитном поле экспериментально установил Ампер, ее назвали **силой Ампера**.

Сила, действующая на элемент тока Idl , находящийся в магнитном поле \vec{B} , пропорциональна величине элемента тока, индукции B и синусу угла между векторами $Id\vec{l}$ и \vec{B} т.е. $dF = IdlB \sin \alpha$.

Направление силы Ампера определяется по *правилу левой руки*. Перпендикулярно плоскости ладони руки входят силовые линии, четыре вытянутые пальца показывают направление тока, большой палец, вытянутый перпендикулярно им, указывает направление силы Ампера. На рис. 3.10. крестами обозначено направление силовых линий от нас. Используя закон Ампера, можно объяснить, что параллельные токи притягиваются друг к другу, антипараллельные – отталкиваются.

Сила Лоренца. Если заряженная частица движется в магнитном поле, то на нее действует сила Лоренца: $F_{л} = qvB \sin\alpha$, где q , v заряд и скорость частицы соответственно, α - угол между векторами скорости и индукции.

Направление силы Лоренца определяется *правилом левой руки* для положительного заряда.

Силовые линии входят в ладонь руки перпендикулярно, четыре вытянутые пальца показывают направление скорости \vec{v} частицы, вытянутый перпендикулярно им большой палец показывает направление силы. На рис. 3.11. крестами обозначено направление силовых линий перпендикулярно плоскости чертежа от нас. Траектория движения заряженной частицы замкнута в виде окружности.

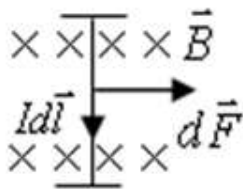


Рис.3.10

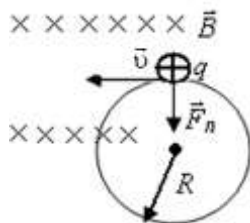


Рис.3.11.

Сила Лоренца реализуется в природе и технике. Одно из применения-это **эффект Холла**.

В 1879 г. американский физик Э. Холл открыл явление, получившее название «эффект Холла». Суть эффекта заключается в следующем. Вдоль тонкой плоскопараллельной металлической пластины толщиной d пропускаем постоянный электрический ток. Перпендикулярно направлению тока действует постоянное магнитное поле \vec{B} . Тогда между гранями, параллельными направлениям тока и по-

ля, возникает холловская разность потенциалов $U_H = \varphi_A - \varphi_B$ которую определяют по формуле : $U_H = RdjB$,

где R – постоянная Холла; j – плотность тока.

Эффект Холла объясняется действием силы Лоренца на движущийся заряд в магнитном поле.

Эффект Холла нашел широкое практическое применение в современном мире:

- а) для определения концентрации и знака носителей тока;
- б) для преобразования механических колебаний в электрические и наоборот (например, в микрофонах);
- в) в автомобилях в качестве электронного преобразователя (в системе зажигания);
- г) для измерения больших значений (несколько кА) постоянного тока (бесконтактный амперметр);
- д) для измерения индукции магнитного поля;
- е) датчики расхода, вибрации;
- ж) в тахометрах;
- з) датчики считывания магнитных карточек или ключей;
- и) датчики для считывания количества бумаги (в принтерах) и др.

3.6. Электромагнитные явления

3.6.1 Опыты Фарадея. Явление электромагнитной индукции

Эрстед и Ампер открыли, что электрические токи создают вокруг себя магнитное поле, которое действует на магнитную стрелку и на проводник с током, помещенные в нем. В связи с этим возникает вопрос: а возможен ли обратный процесс, т.е. может ли магнитное поле порождать электрический ток? Для того чтобы ответить на него, были проведены многочисленные опыты, не дававшие положительных результатов, и только в 1831 году Фарадею удалось решить задачу, которую он поставил перед собой, и осуществить опыт, имевший огромное значение для дальнейшего развития физики и техники.

Идея опыта следующая. Катушку (1), присоединенную к источнику тока и ключу, Фарадей поместил вовнутрь второй катушки (2), подключенной к гальванометру (G). При замыкании и размыкании ключа (K) на гальванометре он наблюдал отклонение стрелки то в од-

ну, то в другую сторону (рис.3.12). Катушку (1) с постоянным включенным источником тока вдвигал и выдвигал в катушку (2) (рис.3.13) – так же наблюдал отклонение стрелки гальванометра. Заменяв катушку (1), присоединенную к источнику тока, на постоянный магнит, Фарадей опыт повторил и получил тот же результат (рис. 3.14).

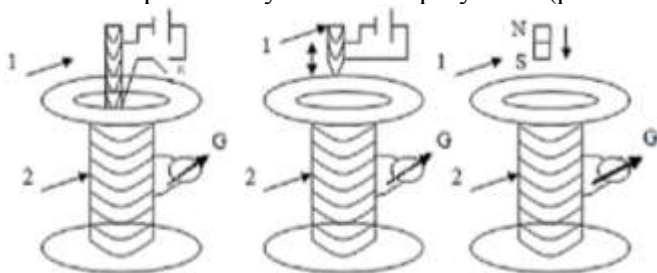


Рис. 3.12.

Рис. 3.13.

Рис. 3.14.

Отклонения стрелки гальванометра G свидетельствовали о том, что в катушке (2) возникает электрический ток, который получил название индукционного. Само **явление возникновения индукционного тока в катушке называется электромагнитной индукцией**. Обобщая результаты опытов, Фарадей пришел к следующему выводу: **при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый проводящий контур, в нем возникает индукционный ток, который не зависит от способа изменения магнитного потока, а зависит от скорости его изменения**.

Открытие Фарадеем явления электромагнитной индукции имело большое теоретическое и практическое значение: дало толчок для разработки Максвеллом теории электромагнитного поля, к получению в дальнейшем электрического тока, к созданию электрических двигателей, генераторов, трансформаторов.

Обобщая результаты опытов, Фарадей сформулировал закон электромагнитной индукции. Он показал, что при всяком изменении магнитного потока в замкнутом проводящем контуре возбуждается индукционный ток. Следовательно, в контуре возникает ЭДС индукции.

ЭДС индукции прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока во времени и не зависит от способа изменения магнитного потока. Математическую запись этого закона оформил Максвелл, и поэтому он называется законом Фарадея-Максвелла (законом электромагнитной индукции):

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.3)$$

где магнитный поток определяется по формуле: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$ и измеряется в веберах [Вб]

Закон электромагнитной индукции справедлив не только для отдельного контура, но и для катушки, состоящей из N витков. *Полный магнитный поток, пронизывающий катушку, определяется по формуле $\Psi = N\Phi$ (Φ – магнитный поток, пронизывающий один виток) и называется магнитным потокосцеплением.* Тогда выражение (3.3)

предстанет в виде
$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

3.7. Электромагнитные волны

3.7.1. Уравнения электромагнитных волн. Опыты Герца.

Энергия электромагнитных волн

Максвелл теоретически доказал, что переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле и наоборот. Таким образом, если возбудить с помощью колеблющихся зарядов переменное электромагнитное поле, то в окружающем заряды пространстве возникнут взаимопорождающие переменные электрическое и магнитное поля, распространяющиеся от точки к точке. Электромагнитные поля, распространяющиеся во времени и пространстве, называются *электромагнитными волнами*.

Электромагнитные волны возбуждаются в колебательном контуре, состоящего из катушки с индуктивностью и конденсатора.

Первые экспериментальные исследования электромагнитных волн провел Герцен в 1888 г. Для получения волн Герц создал им **вибратор**, состоящий из двух стержней, разделенных искровым промежутком (рис. 3.15).

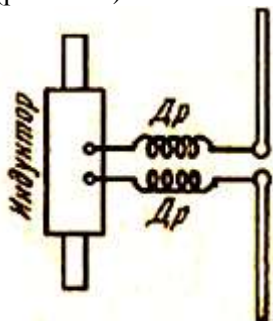


Рис. 3.15.

При подаче на вибратор высокого переменного напряжения от индукционной катушки в промежутке между стержнями проскакивала искра. Она закорачивала промежуток, и в вибраторе возникали электрические колебания, которые порождали электромагнитные волны длиной, равной двум длинам стержня.

Помещая вибраторы разной длины в фокусе вогнутого параболического зеркала, Герц получал направленные плоские электромагнитные волны, длина которых составляла от 0,6 до 10 м.

С помощью металлических зеркал Герц изучал свойства электромагнитных волн, т.е. их отражение и преломление. Он также получил стоячие волны и доказал поперечность электромагнитных волн. Опыты Герца были продолжены Лебедевым и Поповым.

Электромагнитная волна переносит энергию, поскольку представляет собой процесс распространения в пространстве переменных электрического и магнитного полей, являющихся носителями энергии. Объемная плотность энергии электромагнитной волны равна сумме объемных плотностей энергий электрического w_E и магнитного w_H полей:

$$w = w_E + w_H = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2. \quad [\text{Дж/м}^3]$$

где E и H – напряженности электрического и магнитного полей соответственно.

Максвелл теоретически доказал, что падающая на поверхность электромагнитная волна оказывает давление на поверхность:

$$P = w[1 + \rho],$$

где ρ – коэффициент отражения. Для абсолютно черной поверхности $\rho = 0$, для зеркальной – $\rho = 1$.

3.7.2. Шкала электромагнитных волн

В зависимости от частоты (ν) или длины волны (λ), а также способа излучения и регистрации различают несколько видов электромагнитных волн: радиоволны, оптическое излучение, рентгеновское излучение и γ -излучение.

Радиоволнами называются электромагнитные волны, длину λ которых в вакууме принято делить на девять диапазонов (см. таблицу 3.1). Они излучаются электрическими диполями, квадрупольями и другими электрическими системами.

Оптическое излучение – это электромагнитные волны, длина которых лежит в диапазоне от 10 нм до 1 мм. К ним относятся инфракрасное (ИК), ультрафиолетовое (УФ) и видимое излучения.

Для ИК: $\lambda = 1 \text{ мм} \dots 770 \text{ нм}$;

для видимого излучения: $\lambda = 770 \dots 380 \text{ нм}$;

для УФ: $\lambda = 380 \dots 10 \text{ нм}$.

Оптическое излучение возникает при переходе возбужденного атома в основное состояние, т.е. при переходе внешних электронов атома из одного слоя в другой.

Рентгеновское излучение – электромагнитное излучение, которое возникает при взаимодействии заряженных частиц и фотонов с атомами вещества, т.е. при переходе внутренних электронов атома из одного слоя в другой, и характеризуется длинами волн в вакууме, лежащими в диапазоне от 10...100 нм до 0,01...1,0 пм.

Гамма-излучение – электромагнитное излучение с длинами волн в вакууме $\lambda < 0,1 \text{ нм}$, которое испускается возбужденными атомными ядрами при радиоактивных превращениях и ядерных реакциях, а также возникает при распаде частиц, аннигиляции пар «частица – античастица» и других процессах.

Шкала электромагнитных волн

Диапазон радиоволн	Длина волны λ , м	Частота ν , Гц
Сверхдлинные	$\lambda > 10^4$	$\nu < 3 \cdot 10^4$
Длинные	$10^4 \dots 10^3$	$3 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^5$
Средние	$10^3 \dots 10^2$	$3 \cdot 10^5 \dots 3 \cdot 10^6$

Короткие	$10^2 \dots 10$	$3 \cdot 10^6 \dots 3 \cdot 10^7$
Метровые	$10 \dots 1$	$3 \cdot 10^7 \dots 3 \cdot 10^8$
Дециметровые	$1 \dots 10^{-1}$	$3 \cdot 10^8 \dots 3 \cdot 10^9$
Сантиметровые	$10^{-1} \dots 10^{-2}$	$3 \cdot 10^9 \dots 3 \cdot 10^{10}$
Миллиметровые	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{10} \dots 3 \cdot 10^{11}$
Субмиллиметровые	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{11} \dots 3 \cdot 10^{12}$

Электромагнитная картина мира произвела настоящий переворот в физике. Она базировалась на идеях непрерывности материи, материального электрического поля, неразрывности материи и движения, связи пространства и времени как между собой, так и с движущейся материей.

Новое понимание сущности материи поставило ученых перед необходимостью пересмотра и переоценки этих основополагающих качеств материи.

Электромагнитная картина мира объяснила большой круг физических явлений, непонятных с точки зрения механической картины мира. Однако дальнейшее ее развитие показало, что она имеет ограниченный характер.

Главная проблема состояла в том, что континуальное понимание материи не согласовывалось с опытными фактами, подтверждающими дискретность ее многих свойств – заряда, излучения, действия. Оставалась также нерешенной проблема соотношения между полем и зарядом, не удалось объяснить устойчивость атомов и их спектры, излучение абсолютно черного тела.

Контрольные вопросы к главе 3

1. В чём заключается концепция электромагнитной картины мира?
2. Расскажите об электрических зарядах и сформулируйте закон Кулона.
3. Опишите понятие и характеристики электрического поля. Напряженность и силовые линии электрического поля.
4. Что называется электрическим потенциалом и разностью потенциалов? Приведите примеры применения их.
5. Опишите устройство конденсаторов и их назначения в технике.
6. Дайте определение электроёмкости и единицы измерения.

7. Дайте определение силы тока и плотности тока. Сформулируйте условия существования тока.

8. Сформулируйте закон Ома. Дайте определение электрического сопротивления.

9. Опишите опыты Ампера и Эрстеда. Магнитная индукция.

10. Расскажите о действии сил Ампера и Лоренца. В чём заключается эффект Холла?

11. Опишите опыты Фарадея и явление электромагнитной индукции.

12. Опишите опыт Герца по обнаружению электромагнитных волн.

13. Охарактеризуйте шкалу электромагнитных волн.

ГЛАВА 4. КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА

4.1 Место квантовой механики среди других наук

Согласно электромагнитной картине мира окружающий человека мир представляет собой сплошную среду – поле, которое может иметь в разных точках различную температуру, концентрировать разный энергетический потенциал, по-разному двигаться и т.д. Сплошная среда может занимать значительные области пространства, ее свойства изменяются непрерывно, у нее нет резких границ. Этими свойствами поле отличается от физических тел, имеющих определенные и четкие границы. Разделение мира на тела и поля, на поля и пространство является свидетельством существования двух крайних свойств мира – дискретности и непрерывности. *Дискретность (прерывность)* мира означает конечную делимость всего пространственно-временного строения на отдельные ограниченные предметы, свойства и формы движения, тогда как *непрерывность (континуальность)* выражает единство, целостность и неделимость объекта.

В рамках классической физики дискретность и непрерывность мира первоначально выступают как противоположные друг другу, отдельные и независимые, хотя в целом и взаимодополняющие свойства. В современной физике это единство противоположностей, дискретного и непрерывного нашло свое обоснование в концепции корпускулярно-волнового дуализма.

В основе современной квантово-полевой картины мира лежит новая физическая теория — квантовая механика, описывающая состояние и движение микрообъектов материального мира.

Квантовой механикой называют теорию, устанавливающую способ описания и законы движения физических систем, для которых величины, характеризующие систему и имеющие размерность действия, оказываются сравнимыми с постоянной Планка h . Этому условию удовлетворяет движение микрочастиц (электронов в атоме, атомов в молекулах, нуклонов в ядрах и т.д.). Однако в некоторых случаях специфическими квантовыми свойствами обладают наносистемы, нанобъекты, кластеры и др.

Законы квантовой механики составляют фундамент изучения строения вещества. Они позволяют выяснить строение атомов, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов, изучить свойства элементарных частиц и др.

Например, квантовая механика позволила определить строение и понять многие свойства твердых тел, последовательно объяснить явления ферромагнетизма, сверхтекучести, сверхпроводимости, понять природу астрофизических объектов — белых карликов, нейтронных звезд, выяснить механизм протекания термоядерных реакций на Солнце и звездах.

Для классической механики характерно описание частиц путем задания координат и скоростей в зависимости от времени. Такому описанию соответствует движение частиц по определенным траекториям. Однако опыт показал, что такое описание несправедливо для частиц с очень малой массой (микрочастиц, например, электроны, протоны, атомы и др.). Соотношение между классической механикой и квантовой определяется универсальной мировой константой — постоянной Планка $h=6,67 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, называемая квантом действия. Если в условиях данной задачи физические величины размерности действия значительно больше, то применима классическая механика. Это есть условие, и является критерием ее применимости.

4.2 История создания квантовой механики

В начале XX века были обнаружены две группы явлений, свидетельствующих о неприменимости механики Ньютона и классической электродинамики к **процессам взаимодействия света с веществом и к процессам, происходящим в атоме.**

1. Первая группа явлений была связана с установленной на опыте двойственностью природы света (дуализм света), вторая, с невозможностью объяснить устойчивости атомов, а также их оптические спектры. Установление связи между этими группами явлений и попытки их объяснения и привели к открытию законов квантовой механики.

Первые квантовые представления были введены М. Планком в 1900г. в работе, посвященной теории теплового излучения тел.

Кирхгофом в 1859г. был сформулирован закон теплового излучения, который гласит: **отношение лучеиспускательной способности к его поглотительной способности одинаково для всех тел и является универсальной функцией частоты (длины волны) излучения и абсолютной температуры T .**

Используя теории классической электродинамики, термодинамики и статистической физики, многие физики пытались найти функцию Кирхгофа – это Стефан и Больцман (1887-1888г.г.), Вин (1893г.), Рэлей и Джинс (1898г.), а также Планк, но потерпели неудачу.

Анализируя свою неудачу, а также результаты других авторов, Планк пришел к выводу, что нужно коренным образом пересмотреть основы классической теории и в 1900г. выдвинул гипотезу о том, что любое тело излучает или поглощает энергию не непрерывно (концепция классической теории), а дискретно, порциями энергии – квантами. Величина такого кванта энергии пропорциональна частоте света и равна $\varepsilon = h\nu$, где ν – частота излучения.

Планк впервые создал квантовую теорию излучения. На основании квантовой теории излучения Планк объяснил закон теплового излучения и получил формулу функции Кирхгофа, описывающая экспериментальную кривую.

Другими примерами, объясняющими квантовой теорией экспериментальные факты, являются фотоэффект и Комптон эффект.

Фотоэффект – это явление вырывания электронов с поверхности вещества под действием электромагнитного излучения. Он открыт в 1887г. Г. Герцем. Впоследствии исследование фотоэффекта провели А. Столетов (1888г.), Ф. Ленард, Дж. Томсон (1889г.) и др. Первая

теория фотоэффекта дана А. Эйнштейном в 1905г. Для этого, развивая идею Планка, Эйнштейн предположил, что свет не только поглощается и испускается, но и распространяется квантами.

Свет состоит из отдельных квантов, названных позднее фотонами. Энергия фотона равна $\mathcal{E}_\phi = h\nu$.

На основании этой гипотезы Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта. Энергия падающего на вещество фотона $\mathcal{E}_\phi = h\nu$ расходуется на работу выхода (A_e) электрона из вещества и на кинетическую энергию электрона, т.е. $h\nu = A_e + mv^2/2$.

За эту теорию Эйнштейн получил нобелевскую премию в 1921 году. Так же квантовая теория света объяснила эффект Комптона и другие экспериментальные явления.

Существование фотона экспериментально доказал Боте в 1926г.

Фотон – элементарная частица с нулевым электрическим зарядом и нулевой массой покоя, т.е. фотон всегда движется со скоростью света. Импульс фотона определяется формулой $p_\phi = h\nu/c$, где c -скорость фотона.

Таким образом, было доказано экспериментально, что наряду с волновыми свойствами (проявляющимися в интерференции, дифракции и поляризации) свет обладает и корпускулярными свойствами (свойствами частиц). В этом состоит дуализм света, его корпускулярно-волновая природа. Возникло формальное логическое противоречие: для объяснения одних явлений (например, интерференция, дифракция и др.) необходимо было считать, что свет имеет волновую природу, а для объяснения других (фотоэффект, эффект Комптона и др.) – корпускулярную. Попытки разрешения этого противоречия привели к созданию основ квантовой механики.

2. Вторая группа явлений связана с развитием теории строения атомов и атомных ядер и спектров излучения и поглощения атомов.

В 1913 году Нильс Бор сформулировал квантовые постулаты, объясняющие устойчивость модели атома Резерфорда. По Резерфорду атом представляет собой тяжелое положительное ядро (с массой 99% массы атома), вокруг которого вращаются по орбитам электроны (планетарная модель). Однако модель атома Резерфорда была неустойчивой, так как электроны, вращаясь равноускоренно по орбитам, должны излучать энергию и с течением времени они должны упасть на ядро за счет потери энергии. Расчет показал, что время падения

(следовательно, время существования атома) составляет 10^{-24} с. Как известно – атом устойчивое образование. Бор для объяснения устойчивости атомов, используя модель атома Резерфорда и идею Планка, сформулировал три постулата.

1. Электрон в атоме, вращаясь по стационарным или дискретным орбитам, не излучает энергию.

2. Стационарная орбита квантована (дискретна), т.е. момент импульса электрона квантован и принимает дискретные значения

$$L = mvr = n\hbar,$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ – квантовые числа; m, v – масса и скорость электрона; r – радиус орбиты электрона.

3. Энергия излучения или поглощения атомом определяется формулой

$$h\nu = W_n - W_m,$$

где W_n – энергия электрона на орбите n , с которой он переходит; W_m – энергия электрона орбиты m , на которую он переходит.

Теория Бора количественно объяснила устойчивое строение атома водорода (H). Однако она не смогла объяснить устойчивость других атомов, а также не смогла рассчитать интенсивность излучения. Теория Бора имела внутреннее противоречие, т.к. она была полуклассической и полуквантовой.

Существование дискретных энергетических орбит в атоме экспериментально доказали Франк и Герц (1914г.).

В 1924г. Луи де Бройль, пытаясь найти объяснение квантования атомных орбит Бора, выдвинул смелую гипотезу о том, что дуализмом обладает не только свет, но и все материальные объекты, т.е. любой материальный объект (частица) проявляется как волна с одной стороны и как корпускула (частица) с другой стороны. Длина волны такой частицы определяется формулой де Бройля

$$\lambda = p/h,$$

где p – импульс частицы, λ – длина волны.

Наличие волновых свойств частиц экспериментально доказали Дэвисон и Джермер (1927г.) на дифракции пучков электронов, а также Дж. Томсон на дифракции одиночного электрона. Позже волновые свойства были обнаружены у атомов и молекул.

В 1926г. Э. Шрёдингер предложил уравнение, описывающее поведение микрочастиц с волновыми свойствами и в которое входит

волновая пси-функция $\psi(r)$. Однако Шрёдингер не смог выяснить физический смысл пси-функции. М. Борн дал правильную интерпретацию пси-функции: квадрат модуля пси-функции дает плотность вероятности нахождения микрочастицы в соответствующем месте единичного объема пространства $|\Psi|^2 = \rho$.

Из смысла пси-функции вытекает, что квантовая механика имеет статистический характер. Она не позволяет определить место нахождения частицы в пространстве или траекторию, по которой она движется. С помощью пси-функции можно лишь предсказать, с какой вероятностью частица может быть обнаружена в различных точках пространства.

Волновое уравнение Шрёдингера является основным уравнением нерелятивистской квантовой механики. В 1928г. П. Дирак создал релятивистское уравнение, описывающее движение электронов во внешнем силовом поле. Поэтому уравнение Дирака является основным уравнением релятивистской квантовой механики.

В 1925г. В. Гейзенберг создал матричную механику, в которой вместо координат и скоростей электрона фигурировали некие абстрактные алгебраические величины – матрицы. Связь матриц с наблюдаемыми величинами (уровнями энергии и др.) давалась простыми правилами.

Большую роль в создании квантовой механики сыграли работы Дирака, а также Гейзенберга (1927г.), в которых было сформулировано соотношение неопределенностей – важнейшее соотношение, освещающее физический смысл уравнений квантовой механики, ее связь с классической механикой. Выясним в чем смысл соотношения неопределенностей.

Как известно, в классической механике состояние частиц характеризуется одновременным заданием точных значений координат и импульса (скорости) в любой момент времени. Параметры – координаты, скорость, импульс, энергия и др. называются динамическими переменными.

Возможность одновременного точного определения координат и импульса является неотъемлемым свойством любого макрообъекта. Так как микрочастицы (например, электрон) по де Бройлю обладают корпускулярно-волновыми свойствами, то им не могут быть приписаны указанные динамические переменные. Однако информацию о мик-

рочастицах мы получаем, наблюдая их взаимодействие с приборами, представляющими собой макрообъекты. Поэтому результаты измерений поневоле выражаются в терминах, разработанных для характеристики макрообъектов, т.е. через значения динамических переменных. Поскольку микрочастицы обладают волновыми свойствами, то неизбежно должно внести какие-то ограничения в применимости к ним понятий, характеризующих частицу в классической механике. Возникает вопрос, какие ограничения вносятся к микрочастицам? На этот вопрос Гейзенберг ответил принципом неопределенностей: в микромире для микрочастиц невозможно одновременно точно определить координаты и импульс или энергию и время. Если мы пытаемся определить точные значения координат, то навлекаем неопределенность импульса и наоборот. Математическое соотношение неопределенностей Гейзенберг выразил в виде

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar, \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar, \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar, \Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar,$$

где $\Delta x, \Delta y$, – неточность определения координат;

$\Delta p_x, \Delta p_y$ – неточность определения импульса;

$\Delta W, \Delta t$ – неточность определения энергии микрочастицы и времени.

Согласно квантовой теории состояние любой микрочастицы (например, электрона, протона др.) характеризуется четырьмя квантовыми числами:

1. главное $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$;
2. орбитальное $l = 0, 1, \dots, 2, \dots, n - 1$;
3. магнитное $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$;
4. спиновое $S = \pm 1/2$.

Исходя из принципа Паули, в атоме не может быть двух электронов с одинаковыми четырьмя квантовыми числами, т.е. если у двух электронов имеются три одинаковые квантовые числа, например, n, l, m_l , то они отличаются четвертым квантовым числом – спином.

Принцип Паули имеет фундаментальное значение в теории атомов, молекул, ядер, твердых тел и др.

Квантовая механика в течение короткого времени имела большой успех в описании широкого круга явлений. Были созданы теории атомных спектров, строения атомов и молекул, химической связи, периодической системы элементов таблицы Менделеева, металлической

проводимости, сверхпроводимости и ферромагнетизма. В пятидесятые годы XX в. американским физиком Р. Фейнманом была предложена новая формулировка квантовой механики в виде интегралов по траекториям (фейнмановские диаграммы).

Физической основой квантовой механики является корпускулярно-волновой дуализм, являющий всеобщее и универсальное свойство материи, согласно которому не только любой волне с частотой ν отвечает частица с энергией \mathcal{E} и импульсом p соответственно равным:

$$\mathcal{E} = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}, \quad (4.1)$$

но и обратно, с любой частицей, обладающей энергией и импульсом связана волна, частота которой определяется соотношением (4.1). Наличие волновых свойств у частиц доказано огромным числом опытов.

4.3. Выводы квантово-полевой картины мира

В соответствии с квантово-полевой картиной мира любой микробиъект, обладая волновыми и корпускулярными свойствами, не имеет определенной траектории движения и не может иметь определенных координат и скорости (импульса). Это можно сделать только через определение волновой функции в данный момент, а потом найти его волновую функцию в любой другой момент. Квадрат модуля дает вероятность нахождения частицы в данной точке пространства.

Кроме того, относительность пространства-времени в данной картине мира приводит к неопределенности координат и скорости в данный момент, к отсутствию траектории движения микробиъекта. И если в классической физике вероятностным законам подчинялось поведение большого числа частиц, то в квантовой механике поведение каждой микрочастицы подчиняется не динамическим, а статистическим законам.

Таким образом, материя двулика: она обладает и корпускулярными, и волновыми свойствами, которые проявляются в зависимости от условий. Отсюда общая картина реальности в квантово-полевой картине мира становится как бы двухплановой: с одной стороны в нее входят характеристики исследуемого объекта, а с другой — условия наблюдения, от которых зависит определенность этих характеристик. Это означает, что картина реальности в современной физике является

не только картиной объекта, но и картиной процесса его познания. Поэтому важной частью современной физической картины мира являются принципы современной физики, наиболее общие влияние которых распространяется на все физические процессы, все формы движения материи.

4.5. Элементы ядерной физики

4.5.1. Атомное ядро

После открытия протона и построения Резерфордом и Бором ядерной модели атома ученые поставили перед собой задачу выяснить состав атомного ядра. Известно, что ядро атома водорода состоит из одного протона, а ядро гелия – приблизительно из четырех масс протона с электрическим зарядом $+2e$. Можно было предположить, что атомное ядро состоит: 1) из протонов; 2) из протонов и электронов; 3) из протонов и нейтральных частиц.

После открытия английским физиком Чедвиком в 1932 г. нейтрона советский физик Д. Иваненко и независимо от него немецкий физик В. Гейзенберг предположили, что атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, которые называются *нуклонами*.

Протон

Масса протона (p) $m_p = 1836,2m_e = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг = 938,3МэВ = 1,00728 а. е. м. (атомная единица массы), где $m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг = 0,511 МэВ = 0,00055 а. е. м. – масса электрона. 1 а. е. м. = $m_C^{12}/12 = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг = 931,44МэВ, где m_C^{12} – масса атома углерода C^{12} . Заряд протона приблизительно $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Протон – стабильная частица, время ее жизни более 10^{32} лет.

Нейтрон

Масса нейтрона (n) $m_n = 939,55$ МэВ = $1,675 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00866 а.е.м.; заряд нейтрона $q_n = 0$; спин нейтрона $s = 1/2$; магнитный момент $\mu_n = -1,91\mu_n$; время жизни $\tau \approx 15$ мин. Нейтрон – нестабильная частица, распад которой происходит по схеме $n \rightarrow p + e + \nu$ (*антинейтрино*).

Одной из важнейших характеристик атомного ядра является зарядовое число Z , которое определяет количество протонов (p) в ядре, порядковый номер химического элемента в таблице Менделеева и заряд ядра в условных единицах $q_y = Ze$, где e – заряд позитрона (элементарный заряд).

Массовое число A определяет число протонов (p) и нейтронов (n) в ядре и массу ядра в атомных единицах.

Число нейтронов $N = A - Z$.

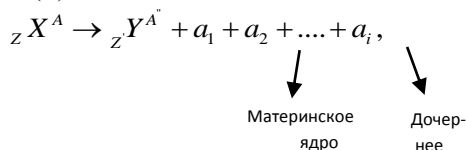
Любое атомное ядро условно обозначается ${}^Z X_A$. Например, ядро кислорода ${}^8 O_{16}$, т.е. оно состоит из 8 протонов и 8 нейтронов ($Z = 8$, $A = 16$, $N = 8$).

В природе существуют атомные ядра (нуклиды) с зарядовым числом $Z = 1, \dots, 92$. Исключением является ядро технеция ($Z = 43$), полученное искусственным путем. Так же искусственно получено большое количество ядер, начиная с $Z = 93$ по $Z = 118$. Число нуклонов в таких ядрах достигает 300. Всего известно около 3000 атомных ядер.

4.5.2 Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Деление ядер

Радиоактивностью называют самопроизвольное превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы других химических элементов, сопровождающееся испусканием некоторых частиц. Ядра, подверженные распаду, называют **радиоактивными**, не подверженные – **стабильными**.

В процессе распада у ядра могут измениться массовое (A) и зарядовое (Z) числа:



где a_i – частицы, вылетающие в процессе распада.

Энерговыведение Q характеризуется энергией распада в Дж:

$$Q = \left[m_x - m_y - \sum_i m_i \right] c^2,$$

где m масса в кг, c – скорость света в вакууме в м/с.

Опыты показывают, что интенсивность самопроизвольного радиоактивного распада со временем уменьшается. Это связано с тем, что с течением времени уменьшается первоначальное число радиоактивных ядер.

Самопроизвольный распад ядер подчиняется закону радиоактивного распада: $N = N_0 e^{-\lambda t}$,

где N_0 – число нераспавшихся ядер в момент времени $t = 0$; λ – постоянная распада, $[\lambda] = c^{-1}$. Число распавшихся ядер определяется

$$N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

Постоянная распада $\lambda = \frac{dN}{Ndt}$ – это доля от общего числа ядер, распадающихся за единицу времени.

Время, за которое распадается половина из общего числа ядер, называют **периодом полураспада** $T_{1/2}$. Он связан с постоянной распада:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Величина, равная числу распада ядер за единицу времени, называется **активностью**: $a = \frac{dN}{dt} = \lambda N$, Единица измерения активности Беккерель (Бк). 1Бк=1распад/с. внесистемная единица Кюри(Ки) 1Ки=3,7·10¹⁰Бк.

Зависимость активности от времени $a = a_0 e^{-\lambda t}$.

Ниже приведены примеры того, насколько различны периоды полураспада некоторых ядер, распространенных в экосистеме:

Sr ⁹⁰	$T_{1/2}=28,5$ лет	Ra ²²⁶	$T_{1/2} = 1620$ лет;
Cs ¹³⁷	$T_{1/2}=30,1$ год	I ¹³¹	$T_{1/2} = 8,05$ сут;
Pu ²³⁹	$T_{1/2}=2490$ лет	K ₄₀	$T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ лет.

Деление ядер. Цепная реакция. В 1934 году Ферми с сотрудниками провел систематическое облучение вещества всех элементов до урана нейтронами и обнаружил радиоактивность этих элементов, т. е. получил искусственную радиоактивность. Облученные нейтронами элементы излучали β -лучи, однако для U²³⁵ они обнаружили не только β -распад, но и сложную смесь других распадов.

В 1939 году немецкие физики О. Фриш и Л. Мейтнер высказали соображение, что захватившее нейтрон ядро U²³⁵ делится приблизительно на две равные части, которые называются **осколками деления**.

Деление может происходить различными путями, всего образуется около 80 различных осколков. Интенсивность реакции деления сильно зависит от энергии нейтрона и от сорта ядер.

При делении ядра U выделяется большое количество энергии $W = 200$ МэВ и вылетают вторичные нейтроны (приблизительно 2,5).

То обстоятельство, что в результате деления ядер возникает большое число вторичных нейтронов, позволяет осуществить цепную реакцию и сделать возможным практическое использование ядерной энергии.

Рассмотрим идеализированную схему цепной реакции. Пусть в неограниченной среде, содержащей U^{235} , под действием бомбардировки первичного нейтрона ядро урана делится на два новых ядра и при этом в среднем вылетают два вторичных нейтрона (1-е поколение). Пусть эти нейтроны вступают в новую реакцию и вызывают деление двух новых ядер урана, в результате чего во втором поколении образуется четыре нейтрона. Они в следующем поколении вызовут деление ядер урана и образование восьми нейтронов. В 4-м поколении образуется 16 нейтронов. Таким образом, количество нейтронов непрерывно возрастает (рис. 4.1.).

Рассмотрим, какая энергия выделяется при идеальной цепной реакции.

Пусть k – число поколений нейтронов. Тогда число нейтронов, образовавшихся в k -м поколении, будет равно $N = 2k$.

Известно, что время жизни одного поколения нейтронов составляет $10^{-7} - 10^{-8}$ с. Поэтому, например, на 80-е поколение потребуется всего лишь $10^{-5} - 10^{-6}$ с. За это время в урановой среде образуется порядка $2^{80} \approx 10^{24}$ вторичных нейтронов, которые вызовут деление 10^{24} ядер U^{235} или примерно 140 г массы U^{235} , и высвобождается энергия, равная $3 \cdot 10^{13}$ Вт·с. Эта энергия соответствует сжиганию 1000 тонн нефти. Если отсутствует препятствие дальнейшему развитию реакции, то число нейтронов через 10^{-3} с составит 10^{72} . В идеализированной схеме цепной реакции принято, что все вторичные нейтроны снова вступают в реакцию, образуя следующее поколение нейтронов. В действительности это не так. Не все вторичные нейтроны попадают в ядра делящегося вещества. В реальных условиях цепная реакция осуществляется в ограниченном пространстве, т. е. в устройствах кроме делящегося вещества имеются и другие: теплоносители, замедлители

нейтронов, защитные оболочки и покрытия, поглотители нейтронов и другие. Поэтому часть вторичных нейтронов поглощается вышеуказанными веществами. Кроме того, из-за конечных размеров зоны реакции некоторая часть нейтронов покидает ее пределы. Следовательно, часть вторичных нейтронов участвует во вторичной реакции. Не все нейтроны, проникающие в ядра делящегося вещества, вызывают деление, а лишь их доля. Для управления цепной реакцией обычно используются тепловые нейтроны. Для этого быстрые нейтроны замедляют веществом-замедлителем (тяжелая вода, графит). Опыт и теория показывают, что доля тепловых нейтронов (K – коэффициент размножения нейтронов), вызывающих деление ядер, определяется формулой

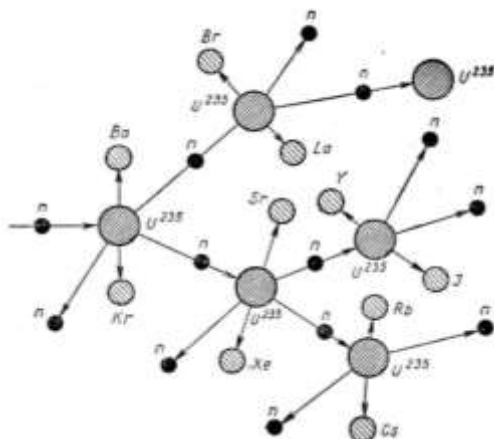


Рис. 4.1. Схема цепной реакции

$$K = pf\eta\epsilon,$$

где p – часть вторичных нейтронов, которые становятся тепловыми; f – часть тепловых нейтронов, захватываемых ядрами делящегося вещества; η – среднее число вторичных нейтронов, приходящееся на один тепловой нейтрон, проникающий в ядро делящегося вещества; ϵ – часть быстрых нейтронов, вызывающих деление ядер до замедления.

Если $K > 1$, то такую цепную реакцию называют **ускоряющейся**.

Если $K < 1$, то **затухающей**.

Если $K = 1$ (критическое условие, при котором наступает цепная реакция), то *самоподдерживающейся*.

Для достижения $K = 1$ необходимо выбрать соответствующие размеры реактора, деталей, массы делящегося вещества. Размеры реактора при достижении условия $K = 1$ называются *критическими*, а масса вещества – *критической*.

4.5.3. Ядерные реакторы и атомная электростанция (АЭС)

Ядерные реакторы. Цепная реакция осуществляется в ядерных реакторах. Реактором называется устройство, в котором поддерживается управляемая цепная реакция. В соответствии с ее типом различают реакторы на медленных, промежуточных и быстрых нейтронах. Составляющими частями любого реактора являются: активная зона, теплоноситель, система регулирования, радиационная защита, пульт дистанционного управления и другие конструктивные элементы.

При работе реактора происходят следующие процессы:

1. выделение тепла за счет реакции деления;
2. выгорание и воспроизводство горючего;
3. отравление активной зоны осколками деления;
4. отравление защиты и конструктивных материалов нейтронами.

Основной характеристикой реактора является его мощность, то есть количество выделенной энергии за единицу времени. Мощность в 1 МВт соответствует цепной реакции, в которой происходит $3 \cdot 10^6$ актов деления ядер в 1с. Главной частью любого реактора является активная зона. В тепловых реакторах и реакторах промышленных на промежуточных нейтронах активная зона состоит из горючего, как правило, смешанного с неделящимся изотопом U^{238} , и замедлителя (рис. 4.2.).

В зависимости от относительного расположения горючего и замедлителя различают гомогенные и гетерогенные реакторы. Наиболее распространены последние. В активной зоне находится замедлитель, в который помещены кассеты, содержащие ядерное горючее и называемые тепловыделяющими элементами или ТВЭЛами. Активная зона с отражателем заключена в стальной кожух. Первая АЭС с графитовым замедлителем была построена в 1954 году в Обнинске.

В ее реакторы введено 128 ТВЭЛов, содержащих 550 кг обогащенного до 5 % урана. Мощность станции 5 МВт.

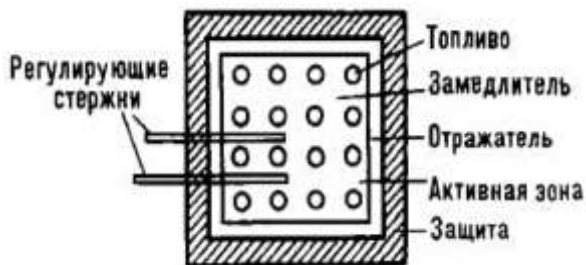


Рис. 4.2. Схематический разрез гетерогенного реактора

Отвод тепла реакции из активной зоны осуществляется теплоносителем. К теплоносителю предъявляются следующие требования:

- большая теплоемкость;
- слабое поглощение нейтронов;
- слабая химическая активность.

Теплоносителями являются: вода, воздух, азот, углекислый газ, жидкий натрий и другие.

Первый атомный реактор мощностью порядка 2 кВт·с управляемой цепной реакцией был построен в 1942 году в Чикаго под руководством Ферми. В последующие годы в США, Канаде, Англии, СССР, Франции и в других странах были построены многочисленные реакторы, разнообразные по своему назначению и мощности, по структуре активной зоны и используемому «горючему», по способу теплоотвода и виду используемого замедлителя.

Атомная электростанция и ядерная энергетика

Второе место по искусственному радиоактивному загрязнению среды занимают атомные электростанции (АЭС), которые вырабатывают до 30 % электроэнергии мира. В настоящее время в мире функционируют более 500 ядерно-энергетических блоков АЭС мощностью 400 ГВт; из них 163 – в странах Западной Европы, 121 – в США, 45 – в России, 60 – в Юго-Восточной Азии. Преимущество АЭС состоит в том, что для них требуется меньшее количество исходного сырья и

меньше земельных площадей, чем для тепловых станций, при этом они не загрязняют атмосферу дымом и сажей. Опасность представляет возможность возникновения катастрофических аварий реактора, а также реально нерешенная проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО) и утечки в окружающую среду небольшого количества радионуклидов.

Таблица 4.1.

Расход природных ресурсов для производства 1 ГВт в год электроэнергии в угольном и ядерном топливных циклах

Ресурс	Ядерный топливный цикл	Угольный топливный цикл
Земля, га	20–60	100–400
Вода, млн м ³	32 (50–200)* (1500)**	21
Материалы (без топлива), тыс. т	16	12
Кислород, млн т	–	8

* При содержании урана в руде менее 0,1 %.

** При прямоточном охлаждении.

На рис.4.3. приведена принципиальная схема атомной электростанции. Здесь 1 означает бетонную защиту атомного реактора, 2 – цилиндры, 3 – стержни с ураном внутри них. Урановые стержни-блоки 2–3 погружены в воду 5, которая одновременно служит и замедлителем и теплоносителем. Вода находится под большим давлением и поэтому может быть нагрета до высокой температуры, порядка 300 °С.

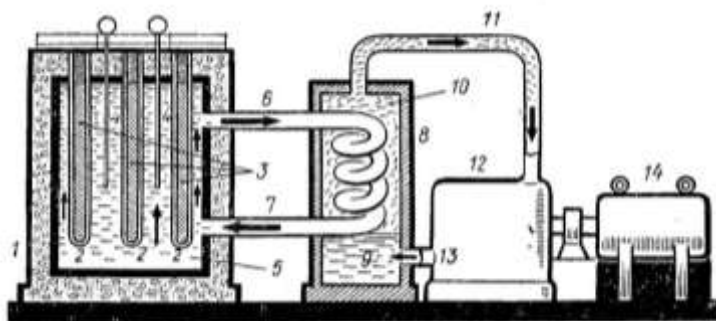


Рис.4.3. Схема АЭС

Такая горячая вода из верхней части активной зоны реактора поступает через трубопровод 6 в парогенератор 8 (где испаряется вода 9), охлаждается и возвращается через трубопровод 7 в реактор. Насыщенный пар 10 через трубопровод 11 поступает в паровую турбину 12 и после отработки возвращается в парогенератор через трубопровод 13. Турбина вращает электрический генератор 14, ток от которого поступает в распределительное устройство и затем во внешнюю электрическую сеть. В реакторе имеются аварийные стержни 4, которые изготавливаются из поглотителей нейтронов.

4.5.4. Термоядерные реакции (синтез). Проблема управляемого термоядерного синтеза(УТС)

Как известно, что АЭС загрязняют окружающую среду радиоактивными выбросами, отходами и др., которые вызывают радиоактивные излучения, опасные для живых организмов и экосистем. В связи с этим необходимо было создавать экологически безопасные источники энергии. Одним из таких источников является энергия получаемая термоядерной реакцией.

Термоядерной реакцией (синтезом) называется слияние легких ядер в одно ядро, при этом выделяется большое количество энергии W , МэВ, которая определяется по формуле $W = 931,4(m_1 + m_2 - m_3)$, где m_1, m_2 – массы сливающихся ядер в а.е.м., m – масса образовавшегося ядра в тех же единицах.

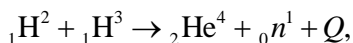
Для слияния ядер необходимо большое количество энергии, т.е. высокие температуры.

Оценим, при каких температурах возможны термоядерные реакции. Рассмотрим слияние двух протонов. Чтобы произошло слияние, необходима энергия, равная 0,72МэВ.

Тогда энергия, приходящаяся на один протон равна 0,36МэВ/нук. Если эту энергию перевести в температуру, то получим $T = 4 \cdot 10^9$ К.

Таким образом, для осуществления термоядерных реакций необходимы температуры порядка $\sim 10^9$ К.

При таких температурах любое вещество находится в состоянии полностью ионизированной плазмы, т.е. в виде смеси ядер и электронов. Поэтому существует проблема изоляции плазмы от стенок реакторов. Однако опыты показывают, что термоядерный синтез возможен при более низких температурах, порядка $\sim 10^7$ К. При этих температурах благоприятен синтез ядер дейтерия ${}_1\text{H}^2$ и трития ${}_1\text{H}^3$ по схеме



и выделяется энергия, равная 17,6 МэВ или 3,5 МэВ/нукл, а для синтеза требуется примерно 0,36 МэВ энергии на один нуклон. Следовательно, при термоядерной реакции дейтерия и трития на один нуклон выделяется примерно в 10 раз больше энергии, чем затрачивается. Если сравнить с энергией, выделенной при делении урана ${}_{92}\text{U}^{235}$ (примерно 200 МэВ, или 0,85 МэВ на один нуклон), то энергия, выделяемая при термоядерных реакциях, примерно в 4 раза больше, т.е. коэффициент отдачи $k = \frac{3,5}{0,85} \approx 4$.

Искусственно термоядерный синтез произведен в водородной бомбе, в которой горючими веществами являлись дейтерий и тритий, а нагрев осуществлялся атомной бомбой, при взрыве которой выделялась температура $\sim 10^7$ К.

В естественных условиях неуправляемый термоядерный синтез происходит в недрах Солнца и звезд, т.е. в масштабах Галактики. Термоядерные реакции, осуществляемые на Солнце, в 1938 г. Г. Бете объяснил в виде двух циклов: протон-протонного и углеродно-азотного.

4.5.5. Проблема управляемого термоядерного синтеза (УТС)

В водородной бомбе термоядерная реакция осуществляется мгновенно и является неуправляемой. Для проведения управляемого термоядерного синтеза необходимо создать и поддерживать в некотором ограниченном объеме температуру порядка $\approx 10^7 - 10^8$ К. Выше указано, что при таких температурах любое вещество находится в плазменном состоянии и при соприкосновении со стенкой сосуда последний испарится, а плазма – охладится. Поэтому перед учеными

встали две проблемы: создания высоких температур и удержания плазмы от стенок сосуда.

Чтобы получить управляемый термоядерный синтез (УТС), необходимо нагреть до высоких температур концентрированную дейтерий-тритиевую ($T \approx 10^8 \text{ K}$) или дейтериевую ($T \approx 10^9 \text{ K}$) плазму и затем удерживать ее в таком состоянии в течение длительного времени τ внутри заданного объема термоядерного реактора. Время удержания определяется запасом энергии в плазме Q и потерей энергии W :

$$\tau = \frac{Q}{W}.$$

Интенсивность синтеза и оценка параметров плазмы для удержания в ней стационарной термоядерной реакции определяются критерием Лоусона $n\tau$, который связан с температурой нагрева T соотношением $n\tau > \frac{12kT}{\alpha(T)\eta Q} = f(T)$, где η – коэффициент преобразова-

ния энергии термоядерного синтеза в электрическую энергию; $\alpha(T)$ – функция от температуры, вид которой определяется энергетической зависимостью сечения реакции; k – постоянная Больцмана.

В Советском Союзе в 1975 г. создана установка для УТС «ТОКАМАК-10» с параметрами: $\tau \approx 0,06 \text{ с}$, $n = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $T_0 = 10^7 \text{ K}$ и $n\tau = 5 \cdot 10^{12} \text{ с/см}^3$ а в США – установка «АЛКАТОР» с параметрами $T_0 = 5 \cdot 10^6 \text{ K}$ и $n\tau = 2 \cdot 10^{13} \text{ с/см}^3$. Плазма состоит в основном из заряженных частиц. Идея ее удержания с помощью магнитного поля была предложена И.Е. Таммом и А.Д. Сахаровым в 1950 г.

В основе идеи создания установки УТС лежит возможность удержания плазмы собственным магнитным полем, т.е. полем, которое создается протекающим через плазму током. Такая установка названа «ТОКАМАК». Практическая реализация идеи принадлежит группе ученых во главе с Л.А. Арцимовичем (1951 г.).

В соответствующих установках электрический ток выполняет несколько функций: а) создает плазму в начальной стадии процесса;

б) разогревает плазму;

в) отрывает плазму от стенок, обеспечивая термоизоляцию.

Кроме того, если плазменный шнур сделать замкнутым, то он будет выполнять роль кругового тока.

Установка «ТОКАМАК» (принципиальная схема на рис.4.4) состоит из внутренней рабочей камеры 1 и внешней (в виде тора) 2. Создание плазменного шнура 3, его нагрев и термоизоляция производится током I_1 , возбужденным индукционно. Для этого камеру продевают в железный сердечник 4 с намотанной на него первичной обмоткой 5, по которой проходит переменный ток. Роль вторичной обмотки выполняет сам плазменный шнур. На внешнюю камеру надеты катушки 6, по которым пропускается большой ток I_2 , создающий сильное продольное магнитное поле. От внешней камеры отходят патрубки 7, служащие для откачки плазмы и наблюдения за ней.

Главная трудность длительного удержания плазмы магнитным полем связана с крайней неустойчивостью плазменного шнура, который под действием внутренних сил примерно за 10^{-6} с начинает деформироваться, разрушаться и разбрасываться на стенки реактора, где плазма быстро остывает и происходит взрыв.

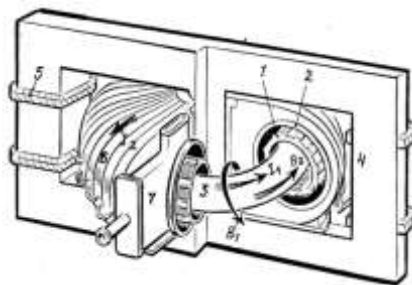


Рис.4.4. Схема установки «ТОКАМАК»

Кроме проблем технического характера, существуют и другие проблемы создания управляемой термоядерной энергетики:

- 1) создание установки УТС с нулевым КПД, так что вся выделяемая энергия термоядерного синтеза используется только для поддержания самой термоядерной реакции;
- 2) создание установки с ненулевым КПД, в которой часть термоядерной энергии используется для получения электроэнергии;
- 3) создание рентабельной термоядерной электростанции. Этим заканчивается первый этап разработки.

4.6. Вселенная

4.6.1. История возникновения Вселенной

Вселенная – вся окружающая часть материального мира, доступная наблюдению. Вселенная содержит разнообразные типы объектов, различающихся размерами и массой, – от элементарных частиц, атомов и молекул в малых масштабах до планет и звезд, галактик, скоплений галактик и дисперсного вещества (газа, пыли) в больших масштабах, а также физические поля (гравитационное, электромагнитное, слабое, сильное).

Современное естествознание рассматривает Вселенную как один из конкретных объектов научного исследования, единственным специфическим свойством которого является его единичность, уникальность.

Раздел физики и астрономии, занимающийся изучением Вселенной как целого, называется *космологией*.

Изучение физических законов окружающего нас мира, фундаментальных составляющих материи, глобальных космологических структур радикально изменило представление человека о Вселенной и его месте в ней.

В ранних представлениях Земля считалась плоской поверхностью, покрытой куполом, усеянной звездами. Однако, уже в VI веке до н.э. Пифагор считал, что Земля имеет форму шара. В качестве доказательства он приводил круглую тень Земли, падающую на Луну во время лунных затмений. Система мира, построенная на основе геоцентрической модели, была первой попыткой понять устройство и механизм Вселенной.

Аристотель (384 – 322 гг. до н.э.) представлял Вселенную как набор материальных сфер, связанных друг с другом. Вселенная считалась шарообразной. В центре Вселенной находилась Земля, вокруг которой располагались Солнце, Луна, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн. Каждое из этих небесных тел было прикреплено к своей сфере, вращающейся вокруг Земли. На самой удаленной восьмой сфере располагались звезды. Сфера вращалась вокруг Земли. Тепло и свет при восходе и подъеме Солнца возникали не от трения этого светила об эфир (ведь в своей сфере оно не двигалось), а от трения друг о дру-

га материальных сфер. Так как Вселенная заключала в себе всю мысленную материю, то Аристотель считал, что она никогда не возникала и не уничтожалась. Поэтому Вселенная Аристотеля единственная и вечная (рис.4.5).



Рис.4.5. Вселенная Аристотеля

Математическую теорию движения планет создал Птолемей (87 – 165 гг. н.э.). На основе этой теории он предсказал их внешние положения:

- шарообразность Земли;
- сферичность и вращение небесного свода;
- центральное положение Земли;
- неподвижность Земли.

На основе своей теории Птолемей составил первые в истории астрономии планетные таблицы, по которым вычислялось положение планет. Теория Птолемея в течение многих столетий способствовала развитию мореходства и торговли (рис.4.6.). Труды Птолемея использовали астрономы Индии и Ближнего Востока.

Геоцентрическая теория Вселенной Аристотеля – Птолемея господствовала до 15 века.

– Польский астроном Николай Коперник (1473 – 1543 гг.), анализируя труды Аристотеля и Птолемея и наблюдения о неравномерном движении планет, пришел к выводу, что оно обусловлено перемещением наблюдателя, т.е. движением самой Земли. Это стало одним из основных принципов системы Коперника. Другим важным

принципом являлось положение Солнца в центре мироздания Аристотеля. По Копернику Солнце находится в центре Вселенной, вокруг которого вращаются планеты. Таким образом, Земля, являясь одной из планет солнечной системы, вращается по круговой орбите вокруг Солнца (гелиоцентрическая система). Н. Коперник считал, что далекие звезды располагаются на большом расстоянии от орбит планет солнечной системы. Он, как и Аристотель считал, что звезды располагаются на внешней сфере, ограничивающей размеры Вселенной (рис.4.7).

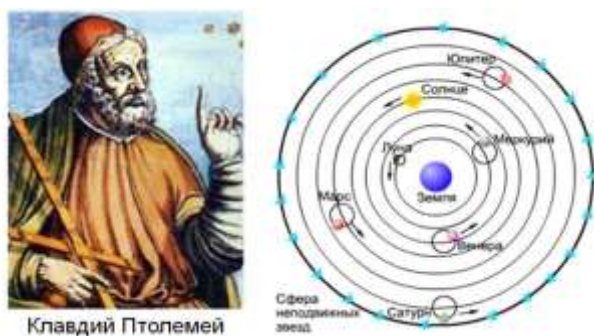


Рис. 4.6. Вселенная Птолемея

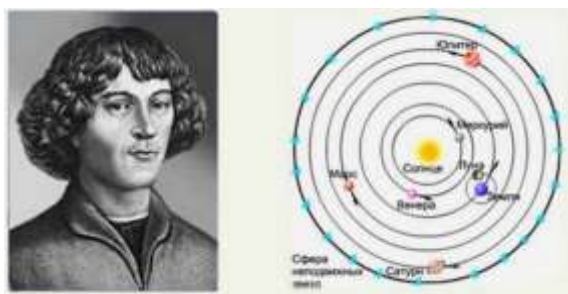


Рис. 4.7. Николай Коперник и его Вселенная

Учение Н. Коперника было запрещено в течение 200 лет католической церковью. Тем не менее, были последователи идеи Н. Коперника о гелиоцентрической системе Вселенной. Итальянский

мыслитель Джордано Бруно (1548 – 1600 гг.), анализируя учение Н. Коперника, пришел к выводу, что солнечная система – это одна из многих подобных систем Вселенной, т.е. он пропагандировал смелую идею о множественности обитаемых миров. Он описывал Вселенную, состоящую из множества солнц, вокруг которых обращаются планеты, на которых также может быть жизнь.

Д. Бруно отказался от представления о единой сфере звезд и впервые высказал идею о том, различная светимость наблюдаемых нами звезд связана с тем, что звезды находятся на различных расстояниях от нашей солнечной системы. Таким образом, из идеи Д. Бруно следовала принципиальная возможность измерения расстояния до звезд.

Впервые эта проблема была решена голландским астрономом Х. Гюйгенсом (1629 – 1695 гг.). Он сравнил блеск двух звезд – Солнца и ярчайшей звезды ночного неба Сириуса, предположив, что они излучают одинаковое количество света (на самом деле, Солнце излучает в 22 раза меньше, чем Сириус). Гюйгенс установил, что расстояние до



Рис. 4.8. Галилео Галилей и его телескоп

Сириуса не менее, чем в 28 000 раз превышает расстояние от Земли до Солнца и составляет 8,7 световых лет (с.в.). Один с.в. – это расстояние, определяемое произведением скорости света в вакууме ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с) на годовое время в секундах, т.е. $1 \text{ с.в.} = 3 \cdot 10^8 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 9,46 \cdot 10^{12}$ км. Согласно современным данным, рас-

стояние до Сириуса гораздо больше и превышает расстояние от Земли до Солнца примерно в 550 000 раз.

Другим последователем идеи Н. Коперника являлся итальянский ученый Галилео Галилей (1564 – 1642 гг., рис.4.8), положивший начало телескопической астрономии. Галилей сконструировал подзорную трубу на основе систем линз и вел наблюдение небесных тел. Он увидел горы на Луне, обнаружил звездный состав некоторых облаков Млечного Пути (нашей галактики), открыл фазы у Венеры, пятна на Солнце и четыре спутника у Юпитера

Другой последователь Н. Коперника немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571 – 1630 гг.) сформулировал три закона (законы Кеплера), описывающие движение планет Солнечной системы:

1. все планеты, обращаются вокруг Солнца по плоским кривым, представляющим собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце;
2. радиус-вектор, проведенный от Солнца к планете, за равные промежутки времени описывает равные площади;
3. квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит.

Знаменитый английский физик и астроном Исаак Ньютон на основании законов движения планет Кеплера сформулировал закон всемирного тяготения. На основании этого закона И. Ньютон построил новую космологическую картину бесконечной Вселенной. Он ввел понятие «пространство–время».

До XVIII в. Вселенная считалась размером с нашу Галактику (в переводе с древнегреч. Галактика – «Млечный Путь»). Поэтому исследователи сосредоточились на изучении строения и свойств Галактики. Одним из основоположников практической астрономии был английский астроном Вильям Гершель (1738 – 1822 гг.). Он построил телескоп–рефлектор с фокусным расстоянием 12 м и изучал Галактику. В результате наблюдений он



Рис.4.9. Эдвин Пауэлл Хаббл

открыл новую планету Уран в солнечной системе, двойные звезды, вращающиеся вокруг общего центра масс. Последующие наблюдения нашей Галактики (Млечного Пути) другими астрономами показали, что кроме солнечной системы, звезд и других небесных тел имеется пыль, газовые образования (туманности), по поводу существования которых среди астрономов возникали дискуссии. Одни считали, что многие туманности – это отдельные галактики, состоящие из миллиардов звезд, расположенные далеко за пределами нашей Галактики; другие – газообразная пыль, находящаяся в нашей Галактике.

Американский астроном Эдвин Хаббл (1889 – 1953 гг., рис.4.9) в 1923 – 1924 гг. изучал туманности (в том числе туманность Андромеды), которые находятся вне нашей Галактики примерно на расстоянии $9 \cdot 10^4$ световых лет⁴.

По современным данным это расстояние составляет $2,4 \cdot 10^6$ световых лет. Хаббл доказал, что туманность Андромеды, видимая невооруженным глазом на безлунном осеннем небе, находится вне нашей Галактики и представляет собой гигантскую систему звезд, сравнимую с нашей галактикой.

Таким образом, были раздвинуты видимые горизонты Вселенной. В последующие годы и по настоящее время открыты миллиарды га-

⁴Один световой год – это расстояние, которое свет в вакууме проходит за один земной год: 1 св.г. $\approx 9,46 \cdot 10^{12}$ км.

лактик. В настоящее время насчитывается порядка ста миллиардов (10^{11}) галактик и в каждой галактике имеется около 10^{11} звезд.

4.6.2. Теория возникновения Вселенной

В настоящее время основной моделью, описывающей историю и судьбу Вселенной, является модель Большого взрыва. Она была создана в 40-х гг. прошлого века, благодаря работам Г. Гамова и его сотрудников Р. Алфера, А. Эйнштейна и Р. Хермана, изучивших возможность рождения элементов во Вселенной. Они первыми осознали, что эта возможность могла быть реализована лишь в очень горячей и плотной Вселенной на самом раннем этапе своего развития. В соединении с наблюдаемыми данными Э. Хаббла (они появились еще в 1929 году) и теоретическими работами А. Эйнштейна, А. Фридмана (1922 – 1924 гг.) и Дж. Леметра (1927 г.) это и привело к рождению модели Большого взрыва (термин «Большой взрыв» предложил Ф. Хойл, критиковавший эту модель).

Согласно концепции Большого взрыва, в далеком прошлом (в соответствии с современными данными около 14 млрд лет назад) вещество во Вселенной было сконцентрировано в очень малом объеме и имело огромную плотность, температуру и давление. Происходило стремительное (взрывное) расширение Вселенной, сопровождающееся ее охлаждением и уменьшением давления. Если за начальный момент $t = 0$ взять момент Большого взрыва, то в ранней Вселенной зависимости плотности ρ и температуры T вещества от времени t космологического расширения даются следующими приближенными соотношениями:

$$\rho[\text{г/см}^3] \approx \frac{5 \cdot 10^5}{t^2[\text{с}]}, \quad T[\text{К}] \approx \frac{10^{10}}{\sqrt{t[\text{с}]}}.$$

Из этих соотношений видно, что при $t = 1\text{с}$ Вселенная имела колоссальную плотность ($\approx 10^5 \text{ г/см}^3$) и температуру ($\approx 10^{10} \text{ К}$). Для сравнения укажем, что температура в центре Солнца $1,5 \cdot 10^7 \text{ К}$.

Расширение Вселенной следует из анализа красного смещения спектров видимого излучения галактик за счет эффекта Доплера. Установлено, что величина красного смещения и, следовательно, ско-

рость разбегания галактик увеличивается для более удаленных галактик. Скорость разлета v двух галактик и расстояние R между ними связаны *законом Хаббла*: $v = HR$,

где H – *постоянная Хаббла*. Учитывая, что $H = 73 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{мегапарсек})$ и 1 мегапарсек $= 3,1 \cdot 10^{19} \text{ км}$, получаем для времени t_0 , прошедшего после Большого взрыва, следующее значение:

$$t_0 \approx \frac{R}{v} = \frac{1}{H} \approx 14 \text{ млрд. лет.}$$

Состояние Вселенной в настоящее время характеризуется величинами, приведенными в таблице 4.2.

Вселенная в больших масштабах ($> 100 \text{ Мпк}$) однородна и изотропна. Она содержит не менее 10^{11} галактик. Наша Галактика – Млечный путь содержит не менее 10^{11} звезд.

Средняя плотность ρ вещества и энергии во Вселенной определена с 2% точностью из большого числа разнообразных астрофизических наблюдений. Оказалось, что она в пределах точности опытных данных совпадает с *критической плотностью* ρ_k .

Последняя, как известно, выражается через постоянную Хаббла и гравитационную постоянную G :

$$\rho_k = \frac{3H^2}{8\pi G} = 10^{-29} \text{ г}/\text{см}^3.$$

Средняя плотность ρ Вселенной определяет ее геометрию и судьбу. При $\rho = \rho_k$ Вселенная плоская (описывается геометрией Евклида) и будет расширяться неограниченно долго (как при $\rho < \rho_k$).

При $\rho > \rho_k$ расширение Вселенной должно смениться ее сжатием. Обычно плотность Вселенной в целом и различных ее компонент выражают в единицах критической плотности. В этих единицах плотность нашей Вселенной в целом

$$\Omega = \rho / \rho_k = 1,003_{-0,017}^{+0,013}.$$

В отличие от величины средней плотности Ω (или ρ) Вселенной, ее состав известен гораздо хуже. Наиболее хорошо определен вклад в плотность Вселенной той части, которую называют *барионной материей*. Она состоит из оптически ярких звезд (на их долю приходится

Таблица 4.2.

Характеристики Вселенной в настоящее время

Возраст t_0	$13,7 \pm 0,2$ млрд лет	
Радиус наблюдаемой части Вселенной (горизонт видимости) $R_0 = ct_0$	10^{28} см	
Полное количество вещества и энергии	$\approx 10^{56}$ Г	
Средняя плотность вещества и энергии	10^{-29} г/см ³	
Полное барионное число (число нуклонов)	10^{78}	
Доля антивещества	$< 10^{-4}$	
Постоянная Хаббла H	(73 ± 4) км/(с·Мпк)	
Температура реликтового (фоновое) излучения	2,73 К	
Плотность реликтовых фотонов	410 см ⁻³	
Энергетическая плотность реликтовых фотонов	$0,26$ эВ/см ³ = $4,6 \cdot 10^{-34}$ г/см ³	
Отношение числа барионов к числу реликтовых фотонов n_b/n_γ	$(4,7 \div 6,5) \cdot 10^{-10}$	
Распространенность атомов (ядер):	по числу	по массе
<i>водород</i>	91%	70,7%
<i>гелий</i>	8,9%	27,4%
<i>остальные ядра</i>	$< 0,2\%$	1,9%

1 мегапарсек (1 Мпк) = $3,1 \cdot 10^{19}$ км.

лишь около 1/10 массы барионной материи), межзвездной пыли и газа, молекулярных облаков, остатков звездной эволюции (включая

черные дыры), планет и очень маленьких звезд, массы которых недостаточны для ядерных реакций синтеза. Масса вещества, содержащегося во всех этих объектах, практически целиком сосредоточена в барионах: протонах и нейтронах, причем на долю протонов приходится 85%, а на долю нейтронов – 15% массы. Нейтроны связаны в ядрах, главным образом, в ядрах гелия. В среднем на $4-5\text{ м}^3$ нынешней Вселенной приходится 1 протон и 1 электрон (Вселенная электрически нейтральна). Плотность барионной материи невелика – всего 4% полной плотности Вселенной ($\Omega_b = 0,04$).

Главный же вклад в общее количество вещества-энергии Вселенной (около 96%) дает невидимая (не излучающая и не поглощающая) субстанция, которую называют темной (dark). О ее существовании определенно свидетельствуют гравитационные эффекты. Данные наблюдений свидетельствуют также о том, что это темное вещество-энергия делится на две части:

- первая – так называемая *темная материя* (*darkmatter*) с плотностью $\Omega_{\text{dm}} \approx 0,20$ – неизвестные, слабо взаимодействующие массивные частицы (не барионы). Это могут быть, например, стабильные нейтральные частицы с массами от $10 \text{ ГэВ}/c^2$ до $10 \text{ ТэВ}/c^2$, предсказываемые суперсимметричными моделями, в том числе гипотетические тяжелые нейтрино;

- вторая – так называемая *темная энергия* (*darkenergy*) с плотностью $\Omega_\Lambda \approx 0,76$, которую интерпретируют как вакуум. Имеется ввиду особая форма материи – *физический вакуум*, т.е. наименьшее энергетическое состояние физических полей, пронизывающих пространство. Плотность энергии вакуума может быть не равной нулю и за счет квантовых эффектов достигать весьма больших значений.

Помимо этих трех основных составляющих Вселенной – барионной материи, темной материи и вакуума – в ней в незначительном количестве (с точки зрения вклада в общую энергию) присутствуют фотоны и безмассовые (или почти безмассовые) нейтрино. Однако, в далеком прошлом (первые десятки тысяч лет жизни Вселенной) эта релятивистская часть материи доминировала в ней, о чем будет сказано ниже. Имеющиеся на сегодняшний день данные о составе Вселенной суммированы в таблице 4.3. Отметим, что плотность энергии вакуума, умноженную на $8\pi G/c^4$, называют *космологической постоянной* Λ .

Во Вселенной с точки зрения связи между давлением и плотностью есть три формы материи:

- сравнительно холодное (нерелятивистское) вещество, не создающее давление, для которого $p=0$ и $\alpha=0$. Это барионы и темная материя;
- горячая релятивистская материя (релятивистский газ), создающая давление, это излучение (фотоны) и нейтрино, для которых уравнение состояния $p/c^2 = (1/3)\rho$.

Существует несколько прямых и наблюдаемых в настоящее время следствий событий далекого прошлого, подтверждающих концепцию Большого взрыва. Эти явления называются реликтовыми. Основные среди них:

- микроволновое фоновое реликтовое излучение (температура 2,7 К);
- высокая распространенность гелия ($\approx 1/4$ всех ядер по массе);
- соотношение между числом барионов и фотонов $\approx 10^{-9}$.

Таблица 4.3.

*Вклад в полную плотность Вселенной различных форм материи
(в единицах $\rho_k = 10^{-29}$ г/см³)*

Барионы	$0,042 \pm 0,004$
в том числе звезды	$\approx 0,005$
Фотоны	$\approx 5 \cdot 10^{-5}$
Нейтрино	$< 0,014$
Темная материя (неизвестные массивные частицы)	$0,20 \pm 0,03$
Темная энергия (вакуум)	$0,76 \pm 0,05$
Полная плотность вещества-энергии	$1,003^{+0,013}_{-0,017}$

Все эти особенности нынешнего мира могли сформироваться лишь в очень горячей и плотной Вселенной, т. е. в ранний период ее существования, когда еще не было ни галактик, ни звезд.

Наиболее убедительным подтверждением теории Большого взрыва явилось открытие в 1965 г. Р. Вильсоном и А. Пензиасом предска-

занного за два десятилетия до этого Г. Гамовым, Р. Алфером и Р. Херманом *реликтового микроволнового излучения*. Форма спектра этого излучения соответствует излучению абсолютно черного тела с температурой 2,7 К. Это излучение заполняет всю Вселенную. Максимум его интенсивности приходится на длины волн около 0,1 см. Реликтовые фотоны это остывший отблеск когда-то очень горячей и яркой Вселенной. Соотношение между числом реликтовых фотонов и барионов (протонов и нейтронов) $\approx 10^9:1$. Однако суммарная энергия реликтового излучения в настоящее время на три порядка меньше суммарной массы вещества в энергетических единицах. Помимо реликтовых фотонов должны существовать и *реликтовые нейтрино* примерно в том же количестве и с той же энергией.

4.6.3. Плотность реликтового излучения. Темная материя

В результате прямых измерений плотности реликтового излучения ρ известно, что она составляет

$$\rho = 400 \frac{\text{фотон}}{\text{см}^3}.$$

Температура фотонов реликтового излучения $T = 2,726$ К.

Т.е. средняя энергия фотонов \bar{E} составляет $\bar{E} = 10^{-3} \text{Эв} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{Дж}$.

В соответствии с соотношением $\bar{E} = mc^2$ $m = \frac{\bar{E}}{c^2} = 2 \cdot 10^{-36} \text{Г}$.

Следовательно, плотность реликтового излучения $\rho = 2 \cdot 10^{-36} \text{г/см}^3$.

Темная материя. Темной материей называют вещество неизвестной природы которая взаимодействует с обычным веществом посредством гравитационного взаимодействия.

Впервые гипотеза о существовании невидимой темной материи была выдвинута в 30-х годах XX века (Цвики), когда было обнаружено, что скорости движения галактик в скоплении галактик соответствуют массе скопления, которая в десятки раз превышает массу, определенную по видимому веществу. Известно, что темное вещество, концентрируясь, увеличивает массу галактик и более крупных структур, таких как скопления галактик.

Косвенные проявления темной материи.

А). Темная материя требуется для объяснения вращения звёзд по орбитам спиральных галактик.

Б). Для объяснения наблюдаемой динамики звёзд необходимо предположить наличие несветящейся тёмной материи, которая простирается в десятки раз дальше видимой границы галактики.

В). Температура межгалактического газа в скоплениях галактик составляет около нескольких миллионов градусов и зависит от величины гравитационного потенциала, в котором находится газ, т.е. от полной массы вещества в скоплении. Наблюдение рентгеновского излучения межзвездного газа согласуется с гипотезой темной материи.

Г). Движение местной группы галактик как целого относительно ближайшего окружения зависит от неоднородности распределения галактик вблизи местной группы галактик (скорость направлена с сторону относительного избытка числа галактик) и указывает также на наличие темной материи.

Д). Из всей совокупности астрономических наблюдений следует, что масса темной материи примерно в десять раз больше массы светящегося вещества, состоящего из барионной материи. Физическая природа темного вещества до сих пор остаётся загадкой.



Рис. 4.10. Скопление галактик EMSS1358+6246 в созвездии Дракона.

На рис.4.10 представлено скопление галактик EMSS 1358+6246 в созвездии Дракона. Тёмного вещества в этом скоплении в 4 раза больше по сравнению с нормальным веществом. Относительная доля тёмного вещества увеличивается к центру скопления. Определив точное количество этого увеличения, астрономы смогут установить пределы на скорости столкновения частиц тёмного вещества друг с дру-

гом. Эта информация очень важна для понимания природы тёмного вещества, из которого, в основном, и состоит наша Вселенная.

Из каких частиц может состоять темная материя?

А). Наименее экзотично выглядит гипотеза, согласно которой темная материя состоит из массивных объектов — планет типа Юпитера, массивных образований типа коричневых карликов, остатков эволюции звезд, существовавших до момента образования галактик, маломассивных черных дыр. В этом случае обнаружение таких объектов возможно астрономическими методами.

Б). Темная материя состоит из неоткрытых тяжелых медленных частиц. Существование таких частиц предполагает теория суперсимметрии. Эти гипотетические частицы должны быть суперпартнерами известных частиц, отличаться от них значениями спина и иметь гораздо большую массу. Одна из таких частиц — нейтралино — суперпартнер Z-бозона. Это самая лёгкая суперсимметричная частица, поэтому она должна быть стабильной. Нейтралино не имеет электрического заряда, поэтому электромагнитные силы на неё не действуют. Теория Большого взрыва позволяет оценить число нейтралино, образовавшихся в первичной кварк-глюонной плазме. Если нейтралино участвуют только в гравитационных взаимодействиях, то обнаружить её при соответствующих сечениях взаимодействий невозможно. Однако существуют модели, согласно которым нейтралино может участвовать и в слабых взаимодействиях. Тогда, согласно этим моделям, соударение частицы темной материи с атомным ядром приведет к его отдаче. Последующие столкновения ядра отдачи с окружающими атомами вызовет выделение энергии в виде тепла или света.

В настоящее время разрабатывается несколько типов детекторов темной материи.

1). Проект ZEPLIN. Регистрация световых импульсов, возникающих при прохождении частиц темной материи через жидкий ксенон.

2). Проект CDMS. Регистрация малых тепловых импульсов, создаваемых частицами темной материи при прохождении через кристалл, охлажденный до температуры 25 мК.

3). Проект DAMA. В качестве сцинтиллятора используется кристалл весом 100 кг — крупнейший в мире. Согласно оценкам частицы темной материи должны вызывать $\sim 10^{-1} + 10^{-3}$ соударений в 1 кг вещества в сутки. Основная проблема детектирования — высокий уро-

вень окружающего радиационного фона. Для того, чтобы обнаружить частицы темной материи необходимо уменьшить радиационный фон радиоактивных примесей и космических лучей в 10^6 раз. Для этого установки размещаются глубоко под землей и окружаются специальным экраном.

4). Тщательно очищают материалы детектора от примесей.

В начале 1998 г. было сделано открытие. Оказалось, что последние пять млрд лет расширение Вселенной незамедлялось как следует из модели Большого Взрыва, а ускорялось. Этот вывод получен в результате анализа спектров излучения взрывающихся Сверхновых, расположенных от Земли на расстоянии 5-10 млрд световых лет. Таким образом, было доказано наличие в космосе гравитационного отталкивания, присущего физическому вакууму.

Космологический вакуум обладает необычными свойствами. Плотность энергии вакуума со временем не изменяется, в то время как плотности обычного вещества и холодной тёмной материи уменьшаются из-за расширения Вселенной. В отличие от сил гравитации силы, обусловленные тёмной энергией, стремятся удалить космические объекты друг от друга. Вакуум создаёт антигравитацию, которая определяет динамику Вселенной в современную эпоху. Средняя плотность энергии вакуума в единицах плотности массы $\rho_{\text{вакуум}} \approx 0,76 \cdot 10^{-29}$ г/см³ и не изменяется со временем.

Физический вакуум – особое состояние квантового поля, в котором при нулевых квантовых числах суммарных зарядов, импульсов и других переменных могут возникать виртуальные частицы. Диаграммы таких процессов - образование пар электрон-позитрон и кварк-антикварк показаны на рис. 4.11.

Образовавшиеся виртуальные частицы могут создавать в пустом пространстве ненулевую энергию вакуума. Во всех физических системах, не связанных с гравитацией, абсолютная величина энергии системы не имеет значения, важна лишь разность энергий состояний. В гравитации, однако, это не так - необходимо учитывать все формы энергии. Однозначного ответа на вопрос о тождественности физического вакуума и тёмной энергии Вселенной пока нет. Другой причиной обсуждаемых эффектов могут быть дополнительные измерения пространства.

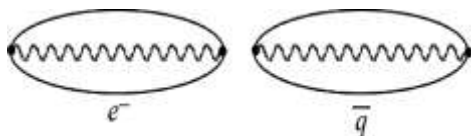


Рис. 4.11. Образование пар электрон-позитрон и кварк-антикварк.

4.6.4. Некоторые характеристики элементов Вселенной: Солнце, солнечная система. Галактики. Черные дыры. Квазары

Солнце. Солнце — одна из звезд нашей галактики. Радиус Солнца $R_{\odot}=6,96 \cdot 10^{10}$ см, в 110 раз больше радиуса Земли. Масса Солнца $M_{\odot}=2 \cdot 10^{33}$ гр, в 330000 раз больше массы Земли. Средняя плотность вещества $\rho_{\odot}=1,41$ г/см³, что составляет 0,26 плотности Земли. Ускорение свободного падения на поверхности Солнца $g=2,74 \cdot 10^4$ см/с².

Средний период вращения Солнца 25,38 суток. Скорость на экваторе $v=2$ км/с. Вращение Солнца в экваториальной зоне $14,4^{\circ}$ за сутки, в высокоширотной зоне — 10° за сутки. Температура в центре Солнца $T=1,6 \cdot 10^7$ К. Эффективная температура поверхности Солнца 5780 К. Светимость Солнца $L_{\odot}=3,86 \cdot 10$ эрг/с.

Солнечная система. Масса Солнца составляет 99,87% всей массы Солнечной системы. Остальные 0,13% массы вещества приходятся на 8 больших планет Солнечной системы: Меркурий, Венера Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун; несколько сотен спутников планет; астероиды ($\sim 10^5$ объектов); кометы ($\sim 10^{11}$ объектов) и гигантское количество более мелких объектов. Согласно оценкам, на расстоянии между 30-50 астрономических единиц ($1 \text{ а.е.} \approx 149,5 \cdot 10^6$ км) находится не менее 70 тыс. объектов, имеющих размеры от 100 до 400 км. Все эти объекты объединены в единую систему гравитационным притяжением Солнца. Основная масса вещества Солнечной системы сосредоточена в Солнце, однако 98% момента количества движения приходится на долю планет.

Интересная особенность Солнечной системы состоит в том, что все планеты обращаются в одном направлении, совпадающем с направлением вращения Солнца. В том же направлении вращаются вокруг своих осей все планеты, за исключением Венеры, Урана, оси вращения которых противоположны солнечной.

1 астрономическая единица ≈ 150 млн. км — среднее расстояние от Солнца до Земли.

1 световой час = 1 080 000 000 км — расстояние, которое проходит свет за 1 час.

1 парсек = $3,086 \cdot 10^{16}$ м = 3,26 световых года.

Парсек — расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен 1".

Размеры Солнечной системы не ограничиваются орбитой Нептуна. Существуют небесные тела — кометы, которые находятся на ещё большем расстоянии от Солнца, чем Нептун. В 1950 г. Ян Хендрик Оорт выдвинул предположение, что существует обширное облако комет, орбиты которых лежат так далеко от Солнца, что они никогда не бывают видны. Солнечная система может иметь внешний диаметр порядка триллиона километров. Лучу света требуется около 40 дней, чтобы преодолеть это расстояние.

Таблица 4.4

Планеты Солнечной системы

Планета	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Период обращения вокруг Солнца	Период вращения вокруг своей оси
Меркурий	0,387	88 сут	58,6 сут
Венера	0,72	224,7 сут	243 сут
Земля	1,00	365,24 сут	24 час
Марс	1,52	687 сут	24,5 час
Юпитер	5,2	11,9 лет	10 час
Сатурн	9,54	29,5 лет	10,2 час
Уран	19,18	84 года	17 час
Нептун	30,06	164,8 лет	17,8 час
Плутон	39,44	247,7 лет	6,4 сут

Планеты Солнечной системы условно делятся на две группы, имеющие примерно схожий химический состав, плотность.

Внутренняя группа планет — Меркурий, Венера, Земля, Марс.

Внешняя группа планет — Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

В этой области пространства находится около 50 звезд. Среди них 4 наиболее яркие звезды — Сириус, Альтаир, Процеон и α -Центавра — хорошо видны невооруженным глазом. Ближайшая к Солнцу звезда — α -Центавра отстоит от нас на ~ 4 световых года. Из всего количества ближайших к нам звезд 10 звезд являются двойными и 2 тройными. Среди ближайших соседей наиболее распространены звезды, имеющие меньшие размеры и светимость по сравнению с Солнцем.

Таблица 4.5

Планеты Солнечной системы. Характеристики

Планета	Плотность, г/см ³	Диаметр, км	Масса, кг	Кол-во спутников
Меркурий	5,44	4878	$3,3 \cdot 10^{23}$	0
Венера	5,5	6050	$4,9 \cdot 10^{24}$	0
Земля	5,52	12756,3	$6 \cdot 10^{24}$	1
Марс	3,95	6780	$6,4 \cdot 10^{23}$	2
Юпитер	1,33	142600	$1,9 \cdot 10^{27}$	76
Сатурн	0,68	120660	$5,7 \cdot 10^{26}$	30
Уран	1,26	51200	$8,7 \cdot 10^{25}$	15
Нептун	1,67	49500	$1,03 \cdot 10^{26}$	6
Плутон	0,17	3000	$1,79 \cdot 10^{22}$	1

К числу ближайших соседей Солнца (рис.4.12) можно отнести звезды, находящиеся от Солнца не дальше 15 световых лет.

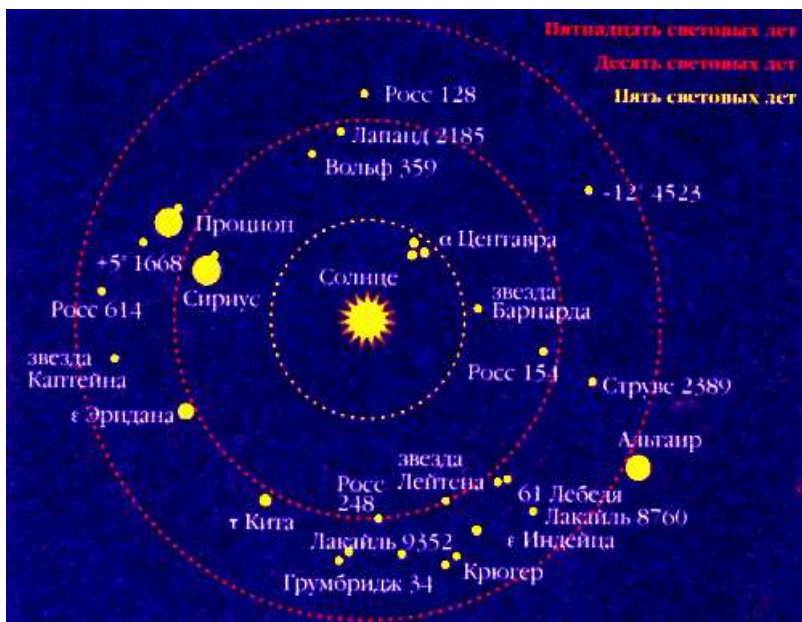


Рис.4.12. Соседи Солнца.

4.6.5. Галактики

Солнце – одна из множества звезд, образующих гигантскую звездную систему — Галактику, которая называется Млечный путь (рис.4.13). Наша Галактика содержит ~150-200 млрд. звезд и имеет вид плоского диска, в середине которого расположен шар диаметром меньшим, чем у диска. Диаметр диска составляет ~100 тыс. световых лет. Диск окружен гало, имеющим слегка сплюснутую сферическую форму. Радиусы диска и гало сравнимы между собой. Число звезд в гало примерно на порядок меньше, чем в диске, и движутся они по сильно вытянутым траекториям, равномерно заполняющим всё пространство гало. В диске содержится большое количество межзвездной пыли и газа. Из данных радиоастрономии следует, что диск нашей Галактики имеет спиральную структуру.

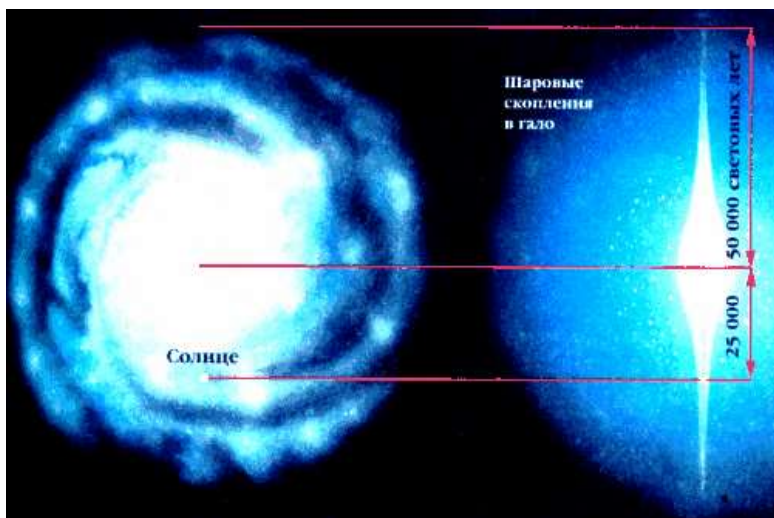


Рис.4.13. Наша Галактика – Млечный путь.

Хаббл разделил галактики (рис. 4.14-4.15) по их внешнему виду на три больших класса: эллиптические (E), спиральные (S), иррегулярные (Ir).

Характерной чертой спиральных галактик являются спиральные ветви, простирающиеся от центра по всему звездному диску.

Эллиптические галактики представляют собой бесструктурные системы эллиптической формы.

Иррегулярные галактики выделяются внешне хаотической, клочковатой структурой и не имеют какой-то определенной формы.

Такая классификация галактик отражает не только их внешние формы, но и свойства входящих в них звезд.

Эллиптические галактики состоят преимущественно из старых звезд. В иррегулярных галактиках основной вклад в излучение дают звезды моложе Солнца. В спиральных галактиках обнаруживаются звезды всех возрастов. Таким образом, различие во внешнем виде галактик определяется характером их эволюции. В эллиптических галактиках звездообразование практически прекратилось миллиарды лет назад. В спиральных галактиках образование звезд продолжается. В иррегулярных галактиках звездообразование происходит так же ин-

тенсивно, как и миллиарды лет назад. Почти все звезды сосредоточены в широком диске, основную массу которого составляет межзвездный газ.

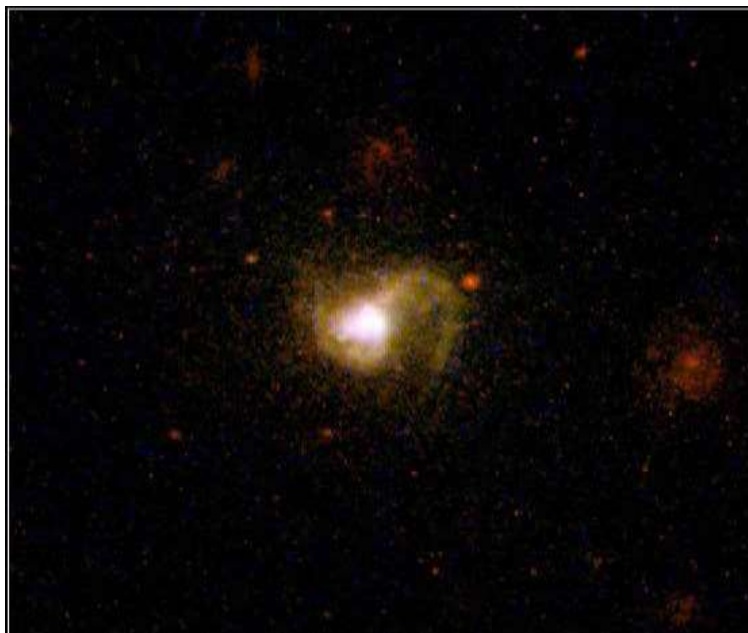


Рис.4.14. Рождение галактики.

Наша Галактика — одна из сотен миллиардов далеко отстоящих друг от друга галактик (рис. 4.15). Многие из них внешне похожи на нашу галактику и по форме и по типу входящих в них звезд. Одна из них — туманность Андромеды М31. Она расположена достаточно близко от нас, поэтому с помощью телескопов можно в деталях изучать её форму и состав.

На рис. 4.16 показана центральная часть туманности М31. Так же как наша галактика она имеет галактическое ядро в центре и много звезд в главном диске, сгруппированных в спиральных рукавах.

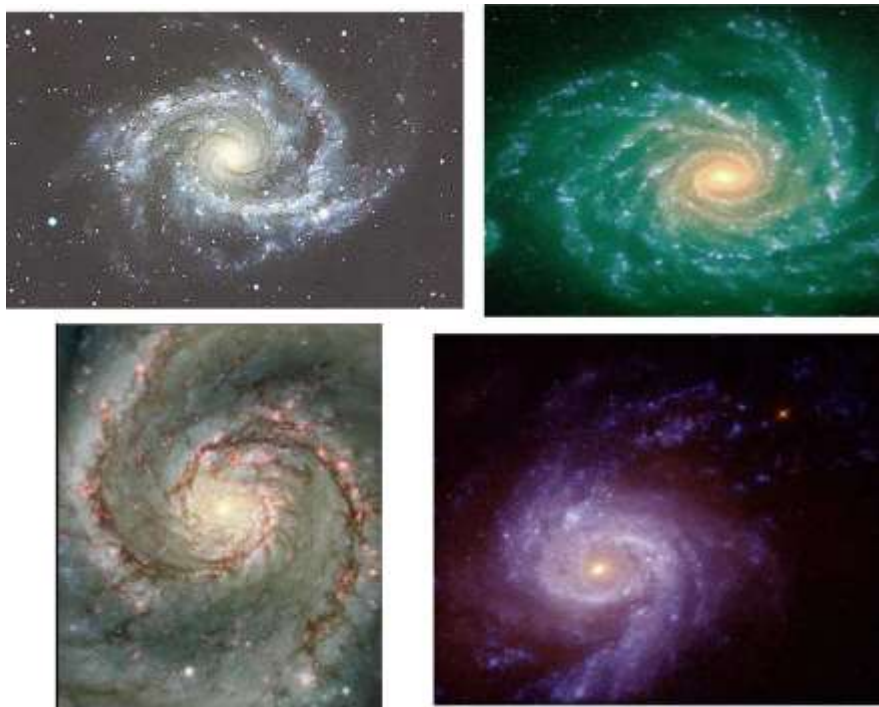


Рис. 4.15. Галактики.



Рис.4.16. Галактика Андромеда М31.

4.6.6 Крупномасштабная структура Вселенной

До недавнего времени считалось, что скопления галактик являются максимальными структурными образованиями во Вселенной. Однако на карте распределения галактик во Вселенной, построенной в таком масштабе, когда каждой галактике соответствует одна точка, обнаружилась ячеисто-сетчатая структура с характерным размером ячейки ~ 100 миллионов световых лет. Внутри этих ячеек галактик практически нет. Все они располагаются на стенках ячеек (рис.4.17). Ячейки и войды (пустоты) — самые большие структурные образования во Вселенной. Однако если рассматривать Вселенную в масштабе ~ 500 миллионов световых лет, то число галактик, количество видимого вещества в таких размерах оказывается одинаковым и не зависит от того, в какой области Вселенной проводится измерение.

В масштабе ~ 500 миллионов световых лет Вселенная однородна и изотропна. Это же подтверждается однородностью и изотропностью реликтового излучения, малостью отклонения от закона Хаббла для удалённых объектов и изотропным распределением удалённых радиоисточников.

Чёрные дыры. Если при взрыве сверхновой сохраняется остаток массой $M > 3M_{\odot}$, то он не может существовать в виде устойчивой нейтронной звезды. Ядерные силы отталкивания на малых (< 0.5 Фм) расстояниях не в состоянии противостоять дальнейшему гравитационному сжатию звезды. Возникает необычный объект - чёрная дыра (термин введён Дж. Уилером в 1967 г.).

Существование чёрных дыр предсказано в рамках общей теории относительности Р. Оппенгеймером и Г. Снайдером в 1939 г. Основное свойство чёрной дыры состоит в том, что никакие сигналы, возникающие внутри неё, не могут выйти за её пределы и достичь внешнего наблюдателя. Звезда массой M , коллапсируя в чёрную дыру, достигает сферы радиуса $r_{ш}$ (сферы Шварцшильда):

$$r_{ш} = \frac{2GM}{c^2} \approx 3 (M/M_{\odot}) \text{ км.}$$

При достижении объектом размера сферы Шварцшильда его гравитационное поле становится столь сильным, что покинуть этот объект не может даже электромагнитное излучение. Можно обнаружить лишь по косвенным признакам, связанным с влиянием её сильного

гравитационного поля на движение окружающего вещества и распро-



Рис.4.17. Крупномасштабная структура Вселенной.

странение излучения, в частности, если она входит в состав двойной звёздной системы с видимой звездой.

В этом случае чёрная дыра будет затягивать газ звезды. Этот газ будет нагреваться, становясь источником интенсивного рентгеновского излучения, которое может быть зарегистрировано.

С помощью рентгеновского телескопа «Чандра» 30 ноября 2003 г. обнаружен мощный выброс вещества во Вселенной. Источником этого извержения является гигантская черная дыра (белая точка в центре рис.4.18.), удаленная на расстояние равное 2.6 млрд. световых лет.

Выброс горячего газа, являющийся мощным рентгеновским источником, обнаружен в районе скопления галактик MS 0735.6+7421. Масса черной дыры оценивается приблизительно в 300 млн. масс Солнца. Примерно такое же количество вещества было выброшено с огромной скоростью на расстояние нескольких миллионов световых лет. На снимке видны 2 темные впадины, каждая из которых имеет диаметр 0,6 млн. световых лет.

Наряду с черными дырами, образовавшимися при коллапсе звёзд, во Вселенной могут быть чёрные дыры, возникшие задолго до появления первых звёзд вследствие неоднородности Большого Взрыва. Появившиеся при этом сгустки вещества могли сжиматься до состояния чёрных дыр, тогда как остальная часть вещества расширялась. Чёрные дыры, образовавшиеся на самом раннем этапе существования

Вселенной, называют *реликтовыми*. Предполагают, что размер некоторых из них может быть значительно меньше протона.

Другой тип черных дыр – *сверхмассивные* черные дыры ($10^8 \div 10^{10} M_{\odot}$), которые могут возникать в центре галактик и звёздных скоплений. В 1963 г. были открыты *квазары* - компактные внегалактические источники радио-, оптического и рентгеновского излучения огромной мощности. Их светимость 1045-1048 эрг/с. Столь мощное излучение может быть обеспечено сверхмассивными чёрными дырами.

На левом снимке рис.4.20 показано рентгеновское изображение горячего газа (имеющего температуру десятки млн. градусов) внутренней части скопления галактик Персей А, удаленного на 250 млн. световых лет. Яркое пятно в центре - сверхмассивная черная дыра в NGG 1275.

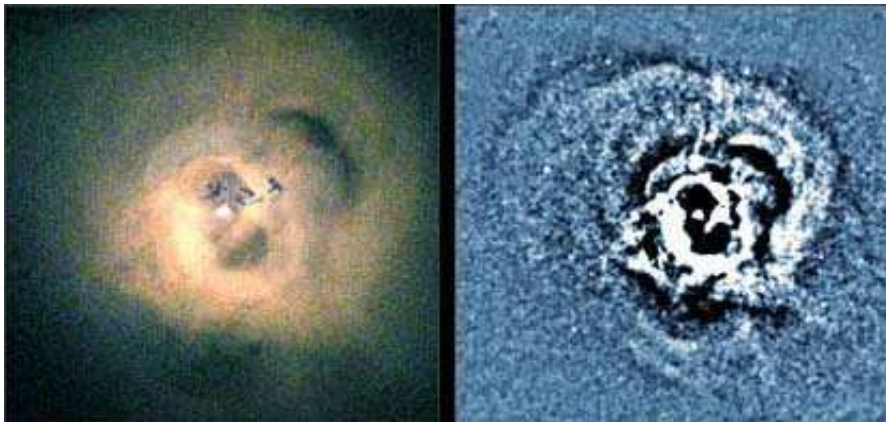


Рис. 4.18. Черная дыра во внутренней части скопления галактик Персей А.

Выбросы в разные стороны образовали ударные волны (увеличенное изображение справа). Волны образовали рябь с интервалом в 10 млн. лет. Мощность выбросов сравнима с энергией взрыва 100 млн. сверхновых. Размеры изображений слева и справа (рис.4.18) - 350000 и 480000 световых лет соответственно.

Полученное обсерваторией Чандра рентгеновское изображение четырёх переменных источников (А, В, С, D, рис.4.19). Все они уда-

лены не больше чем на три световых года от центральной сверхмассивной черной дыры SgrA* (яркий источник прямо над С). Обнаружение этих источников позволяет предположить, в центре нашей галактики находится большое количество переменных рентгеновских источников - вероятно, черных дыр или нейтронных звезд в двойных системах, которые группируются вокруг сверхмассивной черной дыры в центре Млечного пути.

Черные дыры постепенно приближаются к центру Галактики в результате гравитационного взаимодействия с другими звездами.

Квазары. Квазары или квазизвезды - это самые мощные источники оптического излучения в природе. Излучение квазаров имеет нетепловую природу и связано с колоссальным выделением энергии (до 10^{41} Вт) в небольшом объеме пространства. Высокая светимость квазаров позволяет наблюдать их с расстояний в миллиарды световых лет. Видимая яркость квазаров может изменяться в интервалах времен от часов до нескольких лет. Квазары представляют собой очень активную стадию ядер галактик, связанную, по-видимому, с падением вещества на сверх массивные чёрные дыры, существующие в ядрах большинства массивных галактик. Красное смещение излучения квазаров имеют величину 2-3,5.

Величина красного смещения квазара PC1247+3406 составляет 4,897. Излучение этого квазара доходит до Земли за время почти равное возрасту Вселенной. Существует предположение, что первые чёрные дыры сформировались непосредственно за счёт сжатия первичного газа, минуя стадию формирования звезд. В других моделях не исключается звездный этап формирования черных дыр, однако считается, что первые звезды были более массивными, поэтому время их эволюции было коротким, и возможно они и породили первые сверхмассивные черные дыры, когда взрывались в виде сверхновых.

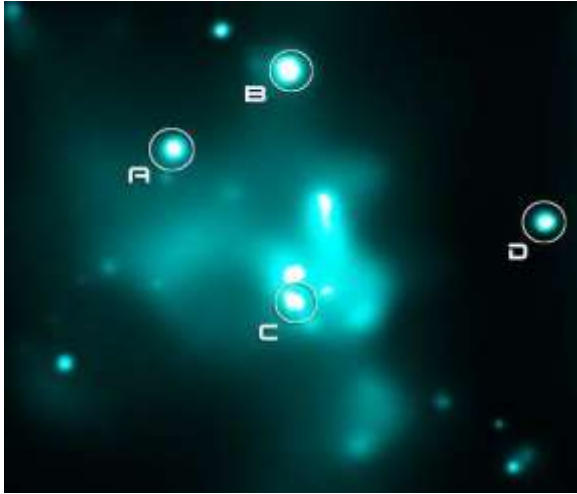


Рис.4.19. Источники переменного рентгеновского излучения в центре Млечного пути

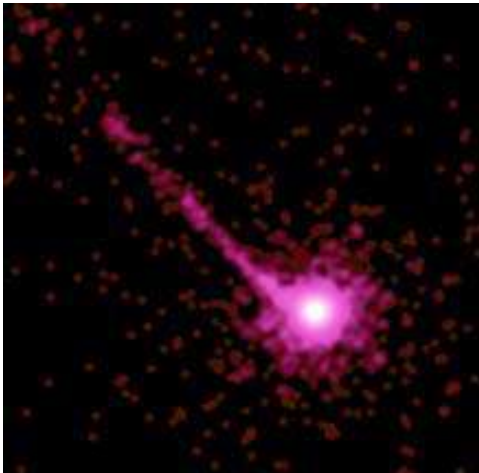


Рис.4.20. Квazar PKS 1127-145



Рис.4.21. Квazar 3C175

На снимке (рис.4.20), полученном рентгеновским телескопом Chandra показан квазар PKS 1127-145. Виден мощный выброс, который простирается на миллионы световых лет. Предполагается, что выброс произошел в результате падения газа на сверхмассивную черную дыру. Квазар удален на расстояние в 10 млрд. световых лет и находится в созвездии Чаша.

Квазар 3C175 (рис.4.21) представляет собой активный центр галактики. Выбрасываемая из 3C175 струя протонов и электронов, движущихся с около световой скоростью, имеет протяженность более миллиона световых лет.

4.6.7 Эволюция Вселенной

Современные космологические теории рассматривают эволюцию Вселенной, начиная с *планковского момента* t_{Pl} после Большого взрыва:

$$t_{Pl} = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} = 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ с.}$$

Планковский момент отвечает «планковским условиям» — *планковским энергиям* частиц (10^{19} ГэВ), *планковской температуре* (10^{32} К), характерным расстояниям между частицами, равным *планковской длине* (10^{-33} см) и *планковской плотности* ($\approx 10^{94}$ г/см³).

Диаметр Вселенной в этот момент был всего лишь несколько микрон. Привычные представления о пространстве и времени вряд ли применимы к столь экстремальным условиям. Происходит распад на кванты единого непрерывного пространства-времени (линейно-временной масштаб этих квантов соответствует вышеприведенным планковским значениям). Квантовые флуктуации пространства-времени. по-видимому, лишают смысла понятия «прошлое», «будущее», «причинность». Квантовые флуктуации при $t < 10^{-43}$ с могли стать причиной возникновения крупномасштабной структуры Вселенной.

Для времен, больших планковских ($t > t_{Pl}$), сценарий эволюции взаимодействий предсказывается современными едиными теориями. Соединение стандартной космологии и единых теорий позволяет, начиная с планковского момента, воспроизвести эволюцию остывающей Вселенной (табл. 4.5.).

Таким образом, в горячей Вселенной должно было быть колоссальное количество античастиц, равное числу частиц, и примерно равное числу γ -квантов. В этот период Вселенная была непрозрачна для γ -квантов и реакции образования пар частица—античастица шли с высокой скоростью. С началом образования из кварков адронов энергии γ -квантов какое-то время были достаточны для рождения адронов (антиадронов). Этот период эволюции Вселенной носит название *эры адронов*. Она начинается примерно при $t = 10^{-10}$ с и заканчивается к 10^{-4} с. Конец адронной эры наступает тогда, когда энергия излучения становится меньше энергии покоя самого легкого адрона — π -мезона.

В условиях дальнейшего падения температуры и давления, когда рождение пар адрон-антиадрон было уже невозможно, а их аннигиляция и распад, естественно, продолжались, происходило быстрое уменьшение числа адронов. Уменьшение числа адронов (антиадронов) привело к повышению числа легких частиц — лептонов, являющихся продуктами распада адронов. На этом этапе энергия фотонов была еще достаточна для рождения пар лептон-антилептон. Этот период называют *лептонной эрой*, и основные процессы, происходившие в эту эру, можно представить следующей схемой:

адроны + антиадроны \rightarrow γ -кванты \leftrightarrow лептоны + антилептоны.

Таблица 4.5

Догалактические этапы эволюции Вселенной.

Время после Большого взрыва	Характерные температуры, К	Характерные расстояния, см	Этап/Событие
$<10^{-43}$ с	$>10^{32}$	$<10^{-33}$	Квантовый хаос. Суперсимметрия (объединение всех взаимодействий).
10^{-43} с	10^{32}	10^{-33}	Планковский момент. Отделение гравитационного взаимодействия.
$10^{-43} - 10^{-36}$ с	$10^{32} - 10^{28}$	$10^{-33} - 10^{-29}$	Великое объединение (электрослабого и сильного взаимодей-

			ствия).
10^{-36} с	10^{28}	10^{-29}	Конец Великого объединения. Разделение электрослабого и сильного взаимодействий.
10^{-10} с	10^{15}	10^{-16}	Конец электрослабого объединения.
10^{-6} с	10^{13}	10^{-14}	Кварк-адронный фазовый переход.
$10^{-10} - 10^{-4}$ с	$10^{15} - 10^{12}$	$10^{-16} - 10^{-13}$	Адронная эра. Рождение и аннигиляция адронов и лептонов.
$10^{-4} - 10$ с	$10^{12} - 10^{10}$	$10^{-13} - 10^{-10}$	Лептонная эра. Рождение и аннигиляция лептонов.

Время после Большого взрыва	Характерные температуры, К	Характерные расстояния, см	Этап/Событие
0,1 – 1 с	$2 \cdot 10^{10}$	10^{-11}	Отделение нейтрино. Вселенная становится прозрачной для нейтрино (антинейтрино).
$10^2 - 10^3$ с	$\approx 10^9$	$10^{-10} - 10^{-9}$	Дозвездный синтез гелия.
10 с – 40000 лет	$10^{10} - 10^4$	$10^{-10} - 10^{-5}$	Радиационная эра. Доминирование излучения над веществом.
40000 лет	10^4	10^{-5}	Начало эры веще-

			ства. Вещество начинает доминировать над излучением.
400000 лет	$3 \cdot 10^3$	10^{-4}	Образование атомов. Разделение вещества и излучения (Вселенная прозрачна для излучения).

Лептонная эра завершается примерно к десятой секунде, когда температура падает до 10^{10} К и энергии фотонов становятся недостаточными для рождения пары самых легких заряженных лептонов - e^-e^+ .

На смену лептонной эре пришла *радиационная эра*.

В начале радиационной эры излучение интенсивно взаимодействовало с заряженными частицами (протонами, электронами), входившими в состав Вселенной. За счет расширения происходило охлаждение Вселенной, в том числе и фотонов.

При дальнейшем расширении Вселенной отношение концентраций фотонов и массивных частиц остается постоянным.

Примерно через 40 000 лет после Большого взрыва, когда температура упала до $T \approx 10^4$ К, суммарная энергия, заключенная в веществе (с учетом массы), начинает превосходить суммарную энергию излучения.

Во Вселенной начинает доминировать вещество, и на смену радиационной эре приходит *эра вещества*.

При охлаждении до $T \approx 3 \cdot 10^3$ К происходит объединение протонов и электронов в атомы водорода (рекомбинация). Плазменное состояние вещества Вселенной сменяется состоянием нейтральных атомов (среди них уже есть атомы дейтерия и гелия) и излучение практически перестает взаимодействовать с веществом. Вселенная становится прозрачной для излучения. Это происходит примерно через 400 000 лет после Большого взрыва, когда плотность вещества снижается до $\sim 10^{-20}$ г/см³. Начиная с этого момента фотоны реликтового излучения охлаждаются, двигаясь свободно в расширяющейся Вселенной (ее поперечный размер в это время $\ll 10^{25}$ см). Увеличение длины их волны

(смещение в красную область спектра) с ростом масштабов Вселенной также дается формулой (4.2). В настоящее время температура реликтового излучения упала до 2,7 К. Это излучение равномерно пронизывает все пространство и практически изотропно (анизотропия $\approx 10^{-5}$).

Разделение вещества и излучения привело к усилению влияния первичных неоднородностей в распределении вещества, что, в свою очередь, привело к образованию галактик и сверхгалактик. Неоднородности меньшего масштаба привели к образованию звезд. Этот этап развития Вселенной продолжается и в настоящее время.

Контрольные вопросы к главе 4

1. В чём смысл квантово-полевая картина мира?
2. Расскажите о месте квантовой механики среди других наук.
3. Опишите историю создания квантовой механики.
4. Сформулируйте постулаты Бора.
5. В чём смысл неопределённостей Гейзенберга?
6. Расскажите выводы квантово-полевой картины мира и принцип соответствия.
7. Охарактеризуйте состав атомного ядра.
8. Что такое радиоактивность? Сформулируйте закон радиоактивного распада.
9. Опишите деление ядер, цепную реакцию и применение ядерной энергии.
10. Опишите ядерные реакторы и атомную электростанцию (АЭС).
11. В чём заключается термоядерный синтез и какие проблемы существуют для управляемого термоядерного синтеза?
12. Опишите историю возникновения Вселенной.
13. Расскажите теорию возникновения Вселенной.
14. Охарактеризуйте плотность реликтового излучения и понятие темной материи.
15. Опишите некоторые характеристики элементов Вселенной: Солнце, солнечная система. Галактики. Черные дыры. Квазары.
16. Что такое Галактики? Какие объекты существуют в Галактике?
17. Опишите крупномасштабную структуру Вселенной.
18. Опишите эволюцию Вселенной.

ГЛАВА 5. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ УРОВНИ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

На определенном этапе эволюции нашей Вселенной в ней возникают условия, приводящие к формированию атомов вещества. Первые упоминания о природе вещества можно найти в работах мыслителей древней Греции. Их представления были достаточно примитивными. Демокрит и его последователи считали, что вещества состоят из атомов различной формы и размера, которые сцепляются между собой «крючками» и определяют свойства вещества.

Представители другого направления (Аристотель и др.) утверждали, что основу вещества составляют элементарные стихии (тепло и холод, сухость и влажность...), которые в различных сочетаниях определяют свойства вещества. В средние века во время господства теологии, опирающейся на философию Аристотеля, зародилась алхимия. По мере развития, накопления опыта и технических приспособлений постепенно на основе алхимии возникла новая наука – химия. Химия – это наука об элементах и соединениях, - такое определение дал Д. Менделеев.

Химический элемент – это элементарное вещество, которое невозможно разложить с помощью химических реакций на более другие, называется химической реакцией. Скорость протекания многих химических реакций зависит от катализатора. Катализатор – это вещество, не расходующееся в ходе химической реакции, но влияющее на скорость ее течения. Если несколько веществ, соединяясь между собой, образуют новое вещество, то говорят о реакции синтеза; если одно вещество разлагается на составляющие, то говорят о реакции анализа.

В начале XIXв. Пруст открыл **закон постоянства состава**, который говорит, что любое соединение обладает определенным и неизменным составом, прочным межатомным соединением и тем отличается от смеси. **Смесь** – набор веществ, не имеющих химических соединений между собой. Теоретическое объяснение закону постоянства состава дал Дж. Дальтон. Он показал, что все вещества состоят из мельчайших частиц – **молекул**, которые в свою очередь состоят из атомов элементов, его составляющих. **Молекула** – это мельчайшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами.

Во второй половине XIX в. А.М. Бутлеров создал теорию химического строения вещества, из которой впоследствии выросла целая отрасль науки – **структурная химия**. Д. Менделеев систематизировал химические элементы в таблицу, расположив их по мере возрастания масс, открыв **периодический закон химических элементов**. Этот закон показывает, что химические свойства атомов находятся в периодической зависимости не от массы, а от заряда ядра и соответственно от числа электронов на внешней электронной оболочке атома.

В природе существует множество **изотопов** – атомов, обладающих одинаковыми химическими свойствами, но различной массой. Н.С. Курнаков уточнил закон постоянства состава Ж. Пруста, введя понятия: **бертоллиды** – вещества с переменным составом и **далто-ниды** – вещества с постоянным составом.

Соединение атомов в молекулы зависит от химической связи. **Химическая связь** – это сила, удерживающая вместе два или несколько атомов, молекул или любую комбинацию из них. По своей природе она представляет собой электростатическую силу притяжения между электронами и атомными ядрами. Величина этой силы притяжения, соответственно энергия диссоциации, зависит от электронной конфигурации внешней оболочки атомов. Например, у благородных газов (гелия, аргона и др.) внешняя оболочка заполнена полностью электронами. Поэтому атомы этих газов не соединяются в молекулы. У других газов (водорода, кислорода и др.) внешняя оболочка не полностью заполнена электронами и они соединяются в молекулы.

Энергией диссоциации связи называется энергия, необходимая для того, чтобы разделить два связанных атома и удалить их друг от друга на такое расстояние, при котором они не испытывали притяжения.

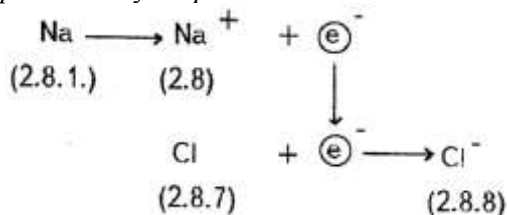
Электроны, участвующие в образовании химических связей, называются **валентными**. Они находятся на внешней оболочке. В образовании молекулы в основном участвуют валентные электроны.

Электронную теорию валентности создали Г. Льюис и В. Коссель в 1916 году. Одни атомы теряют электроны, **образуя катионы (положительные ионы)**, а другие – приобретают электроны и образуются **анионы (отрицательные ионы)**. При соединении катионов и анионов между ними возникает химическая связь, которая называется **ионной связью**. Если атомы создают устойчивые внешние элект-

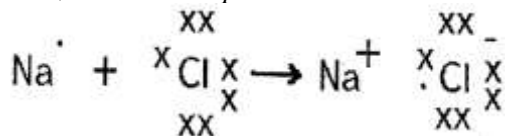
тронные конфигурации путем обобществления электронов, то возникает **ковалентная связь**. Также существуют другие типы химических связей: **металлическая, водородная, Ван-дер-Ваальсовская**. Ниже рассмотрим эти связи.

5.1. Ионная связь

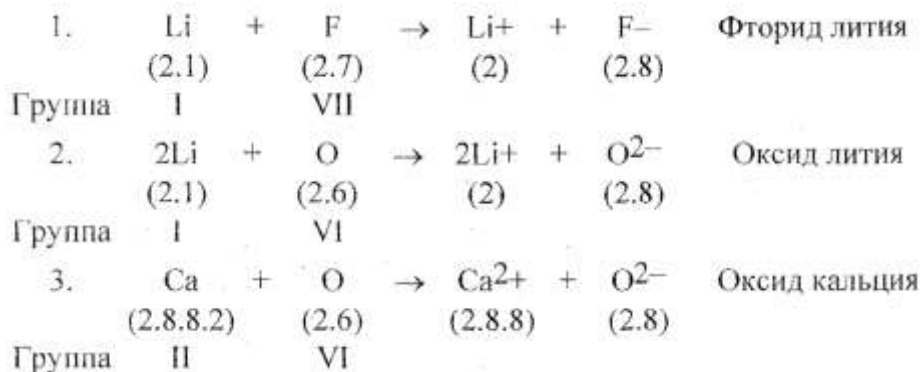
Ионная связь представляет собой электростатическую силу притяжения между ионами с зарядами противоположного знака. Коссель (1916 г.) предположил, что ионная связь (или электровалентная связь, как он назвал ее) может образовываться в результате *переноса* одного или нескольких электронов от одного атома к другому. Например, ионная связь в *хлориде* натрия образуется в результате переноса электрона от атома *натрия* к атому *хлора*.



В скобках под символами атомов и ионов указаны их электронные конфигурации. Перенос электрона между атомами можно схематически изобразить с помощью *точек* и *крестиков*:



Наиболее типичные *ионные* соединения состоят из *катионов* металлов, принадлежащих к I II группам периодической системы, и *анионов неметаллических элементов*, принадлежащих к VI и VII группам. Модель электронного переноса, предложенная Косселем, позволяет объяснить образование таких соединений. Приведем три примера:



В скобках показано число электронов по уровням, начиная с первого.

5.2. Ковалентная связь

Ковалентная связь образуется *парой* электронов, *обобществляемых* между двумя соседними атомами. Каждый из этих атомов поставляет на образование ковалентной связи по одному электрону. Ковалентные соединения существуют в форме *молекул* либо *каркасных* кристаллических структур. Однако ковалентные связи существуют еще и в многоатомных (комплексных) *ионах*. Каждую ковалентную связь в молекуле, каркасной кристаллической структуре или в многоатомном ионе можно схематически представить с помощью *точки и крестика* (рис.5.1.).

Каждая точка или крестик изображают электрон в валентной оболочке атома. Для записи двойной ковалентной связи используют две пары точек и крестиков, а для записи тройной связи – три пары точек и крестиков.

Кроме того, для схематического изображения ковалентной связи в молекулах и ионах используют также формулы Льюиса. В этих формулах каждый ион изображается точкой.

Для записи простой ковалентной связи используют пары точек, помещенных между двумя атомами. На рис. 5.1. показаны формулы Льюиса для хлороводорода, кислорода и ацетилена (этина).

Следует обратить внимание на то, что каждый атом в ковалентной формуле имеет *заполненную* электронную оболочку: атомы водорода имеют по два электрона (в К-оболочке), а атомы хлора, кислорода и углерода окружены каждый восьмеркой электронов. Таким образом выполняется правило *октета*.

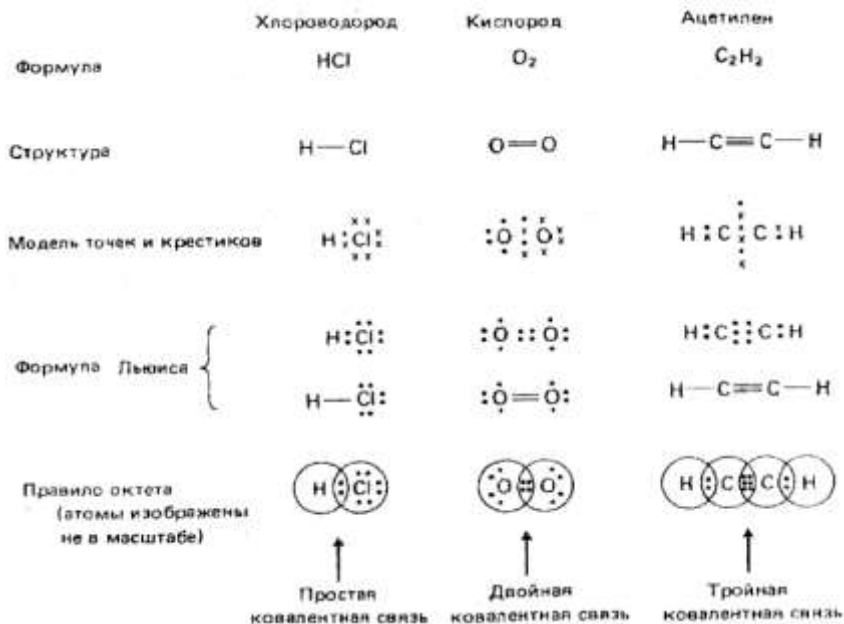


Рис. 5.1. Модель точек и крестиков и формулы Льюиса

5.3. Молекулярные орбитали

Электроны в ковалентных соединениях находятся на молекулярных орбиталях, имеющих характерную форму, которая определяется вспомогательным (*орбитальным* или *азимутальным*) *квантовым числом*. На каждой молекулярной орбитали может находиться *один* или *два* электрона с *противоположными* спинами. Существуют молекулярные орбитали трех типов: *связывающие*, *несвязывающие* и *разрыхляющие* (*антисвязывающие*).

5.3.1.Связывающие орбитали

Такие орбитали изображены с помощью точек и крестиков на рис. 5.1. Они образуются в результате *перекрывания* (наложения) атомных орбиталей двух соседних атомов. В свою очередь, связывающие орбитали подразделяются на σ -орбитали (*сигма-орбитали*) и π -орбитали (*пи-орбитали*), соответствующие σ - и π -связям.

Образование σ -связи происходит в результате лобового перекрывания атомных орбиталей следующих типов

- двух s-орбиталей (рис.5.2, а);
- двух p-орбиталей, ориентированных вдоль одной прямой (рис.4.2, а);
- одной s-орбитали и одной p-орбитали, ориентированной в сторону s-орбитали (не показаны на рис.5.2, а).

Образование π -связей происходит в результате бокового (двойного) перекрывания p-орбиталей двух атомов (рис.5.2, б). Такая связь возникает только в том случае, если два атома уже связаны между собой σ -связью. Например, тройная связь в молекуле N₂ состоит из одной σ -связи и двух π -связей.

5.3.2. Несвязывающие орбитали

Устойчивый октет электронов во внешней оболочке атома кислорода легко достигается путем обобществления двух из шести внешних электронов кислорода с другими атомами. При этом остальные четыре электрона не принимают участия в образовании связей. Эти четыре электрона представляют две *неподеленные* (т.е. необобществленные) *пары*.

Каждый атом в молекуле азота тоже имеет неподеленную пару электронов. Всего у него пять электронов во внешней оболочке. Два из этих пяти электронов образуют *неподеленную* пару на *несвязывающих* орбиталях. Остальные три электрона участвуют в образовании тройной связи и находятся на *связывающих* орбиталях (рис.5.3.).

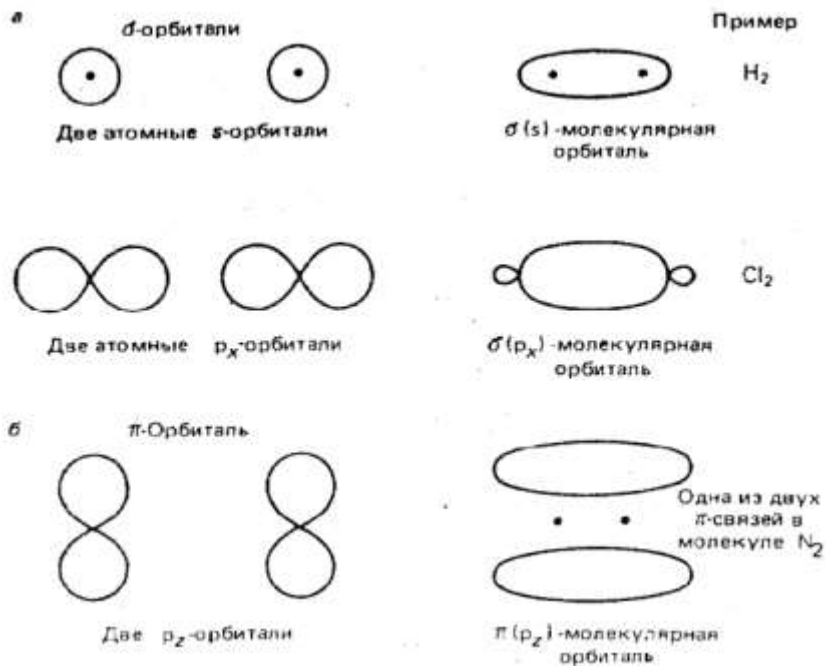


Рис. 5.2. Связывающие орбитали: *а* - σ -орбитали (*сигма-орбитали*); *б* - π -орбитали (*пи-орбитали*)

5.4. Гибридные атомные орбитали

Во многих молекулах, особенно в молекулах органических соединений, некоторые атомные орбитали, принимающие участие в образовании ковалентных связей, смешиваются между собой, образуя *гибридные* атомные орбитали. На рис. 5.4. показана форма гибридных атомных орбиталей трех типов, образованных из s - и p -орбиталей. При смешивании

Одной s - и одной p -орбитали получаются две гибридные sp -орбитали.

Орбитали, образованные смешиванием одной s - и двух p -орбиталей, называются sp^2 -орбиталями. При таком смешивании возникает набор из *трех* sp^2 -орбиталей. Гибридные орбитали из одного

набора *эквивалентны*: их нельзя отличить друг от друга по форме или по энергии, они различаются только ориентацией в пространстве. Набор гибридных sp^3 -орбиталей состоит из *четырёх* эквивалентных орбиталей, образованных смешиванием одной s - и трех p -орбиталей.

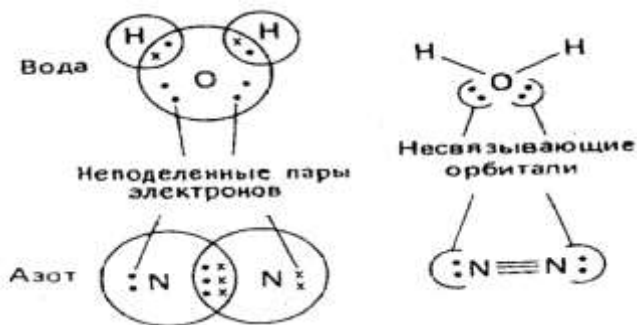


Рис. 5.3. Неподеленные пары электронов и несвязывающие орбитали

5.5. Координационная связь

В некоторых молекулах и многоатомных ионах ковалентная связь образуется в результате обобществления двумя атомами пары электронов, поставщиком которых является только *один* из этих атомов. Такая пара электронов первоначально (до образования связи) представляла собой *неподеленную* пару одного из атомов. Атом, поставляющий для образования связи неподеленную пару электронов, называется *донором* электронной пары. Атом, обобществляющий с донором такую пару электронов, называется *акцептором* электронной пары. Возникающий в таких условиях тип связи называется *координационной* (адативной или донорно-акцепторной) связью.

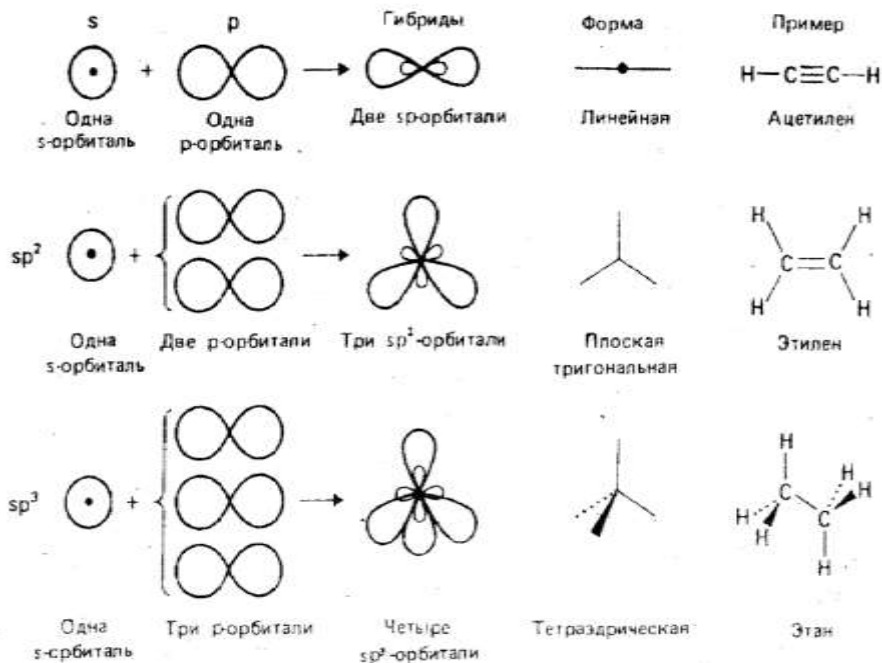


Рис. 5.4. Гибридные атомные орбитали

Атом азота в молекуле аммиака (NH_3) имеет неподеленную пару электронов и поэтому легко образует координационную связь. В качестве примера можно привести связь, образуемую между атомами азота и атомами алюминия в соединении NH_3AlCl_3 .

На рис. 5.5. показаны три способа изображения такой связи в указанном соединении. Следует иметь в виду, что образование координационной связи приводит к появлению положительного заряда на атоме, который является донором электронной пары, и отрицательного заряда на атоме, являющемся акцептором электронной пары.



Рис. 5.5. Координационная (донорно-акцепторная связь) в молекуле NH_3AlCl_3

5.6. Металлическая связь

Исследования, проводимые с помощью рентгеновских лучей, показывают, что металлы в твердом состоянии существуют в форме кристаллов. Эти кристаллы состоят из положительных ионов, которые удерживаются в определенных положениях свободно перемещающимся «морем» электронов (рис.5.6.). Химическая связь, осуществляемая в результате связывания положительных ионов решетки свободными электронами, называется *металлической* связью.

Электроны, участвующие в образовании металлической связи, являются внешними или валентными электронами атомов металла. Эти валентные электроны уже не принадлежат каждый определенному атому металла, а *делокализованы* между положительными ионами. Делокализованные внутри металла электроны не располагаются парами на связывающих орбиталях между соседними атомами, а находятся на гигантских *орбиталях*, которые простираются по *всей* кристаллической решетке. Эти орбитали группируются по энергии в *отдель-*

ные зоны. В пределах одной зоны имеется множество орбиталей с разными энергетическими уровнями. Соседние энергетические уровни имеют почти одинаковую энергию. Валентные электроны металлов, принадлежащих к I группе периодической системы, частично заполняют самую низкую энергетическую зону. Она называется s-зоной. Металлы II группы имеют полностью заполненную s-зону.

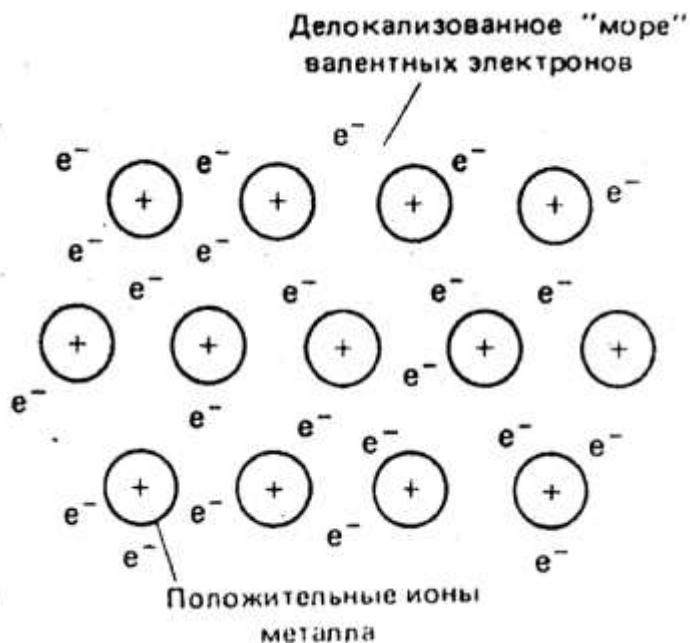


Рис. 5.6. Металлическая связь

Из вышерассмотренной физической природы химической связи ясно, что процесс объединения атомов в молекулу неизмеримо сложен. Тем сложнее задача, решаемая эволюционной химией, находящейся на передовом участке современной науки.

Эволюционная химия – раздел химии о самоорганизации молекул. Например, совершенно непонятно и неочевидно возникновение сложных органических молекул типа РНК и ДНК. На сегодняшний день искусственно синтезировано огромное количество веществ, в том числе и органических, не встречающихся в живой природе, однако

природа из всего их разнообразия смогла создать очень малую часть⁵, зато построить на ней жизнь.

5.7. Фундаментальные основы химии

Фундаментальными основами химии являются квантовая механика, атомная физика, термодинамика неравновесных процессов, статистическая физика, а так же физическая кинетика. На основе физики построена теоретическая химия.

На химическом уровне мы имеем дело с очень большим числом частиц, участвующих в квантово-механических процессах обмена электронами (химических реакциях). Это обуславливает макроскопичность проявления законов квантовой физики в химических процессах.

В связи открытием уже шести фазовых состояний вещества изменилось и определение, что такое молекула. Если раньше считалось, что молекула – устойчивое собрание атомов соединенных и организованных в пространстве химическими связями, то сейчас можно представить молекулу, как систему атомов (ионов), удерживаемых друг возле друга любыми мыслимыми силами.

Согласно современной теории атом представляет собой динамическая система, включающая в себя кварки, электроны и виртуальные фотоны. Например, атом водорода представляет собой систему, состоящую из трех кварков и антикварков, образующих ядро, вокруг которого вращается один электрон.

В ходе химических превращений происходит перестройка электронных оболочек взаимодействующих атомов, молекул и ионов, и перераспределение сил химической связи, что приводит либо к выделению энергии (если итогом взаимодействия является упрочнение связей между атомами, ионами и молекулами), либо к поглощению (если эти связи становятся более слабыми, рыхлыми). Поэтому для всех химических реакций характерны не только глубокие качественные изменения и строго определенные стехиометрические соотноше-

⁵ Некоторые из этих молекул не могут быть созданы искусственно до сих пор.

ния между количествами исходных и образующихся в результате реакции веществ, но и вполне определенные энергетические эффекты.

5.8. Периодический закон Д.И.Менделеева

Русский учёный Д.И.Менделеев открыл в 1869 году периодический закон химических элементов, согласно которому свойства элементов, а также свойства образуемых ими веществ находятся в периодической зависимости от их атомной массы. Этот закон составляет основу периодической системы, элементы которой располагаются в ней горизонтальными рядами в порядке увеличения атомной массы.

В 1961 г. в качестве единой была установлена углеродная шкала атомной массы, в которой за единицу принята $1/12$ массы легкого изотопа углерода ^{12}C , называемая атомной единицей массы (а.е.м.). Поскольку последняя очень мала ($1,66 \cdot 10^{-27}$ кг), то для удобства используют относительные атомные массы, вычисляемые как отношение массы данного атома к а.е.м.

Химические элементы образуют простые и сложные вещества, которые в зависимости от условий обладают или не обладают металлическими свойствами или неметаллическими.

Периодический закон химических элементов, обусловил рационализацию значительного эмпирического материала, накопленного химией и он стал одним из основных систем в естествознании. Именно в рамках этого закона раскрывается взаимосвязь различных уровней материи: электронов, атомов, молекул, кристаллов. Позднее, в связи с успехами квантовой теории, физика помогла составить представление об атоме элемента как о сложной квантово-механической системе. Место элемента получило новый смысл, оказавшись обусловленным зарядом ядра атома

(Z). На этой основе были выяснены особенности строения электронных орбит всех элементов и раскрыт физический смысл периодического закона.

Введение порядкового или атомного номера в качестве фундаментальной характеристики элемента позволило уточнить многие другие свойства химических элементов, например, установить взаимосвязь между физическими и химическими свойствами и, более того, оценить их изменение в зависимости от атомного номера.

Строение электронных оболочек атомов объясняет расположение элементов в семи периодах; каждый период – это ряд элементов, начинающихся с активного щелочного металла и завершающихся инертным газом.

Первых три периода – «малые» содержат, соответственно, 2, 8 и 8 элементов, которые названы Менделеевым «типическими», так как они входят в главные подгруппы. Их свойства типичны для элементов, располагающихся под ними. Остальные периоды (с 4 по 7), содержащие 18, 18, 32 и 24 элементов, называются «большими». Большие периоды могут быть записаны в 2 ряда (четный и нечетный). Отсюда следует, что возможны два основных варианта периодической системы элементов – длиннопериодный (современный) и короткопериодный (предложенный Менделеевым) (см. рис.5.7.).

Короткопериодный вариант состоит из 10 рядов, причем каждый нечетный ряд (за исключением 1-го) состоит из 8 элементов. Первые два элемента четных рядов больших периодов и все элементы (за исключением первых двух) нечетных рядов этих же периодов входят в главные подгруппы.

Поэтому в периодической системе 8 элементов каждого периода образуют восемь главных подгрупп, а остальные 10 элементов каждого большого периода – восемь побочных подгрупп; при этом 9-й и 10-й элементы объединяются с 8-м, вследствие чего восьмая побочная группа содержит триады элементов. Главные и побочные подгруппы короткопериодной формы системы элементов соответствует группам А и В длиннопериодной формы.

Зная зависимость позиции элемента в периодической системе от строения электронных оболочек его атомов, можно и наоборот, по месту элемента в системе, судить об электронной структуре его атомов, а следовательно, предвидеть его главные химические свойства.

Со времен Д.И. Менделеева было известно 62 элемента. В 1930-е годы система элементов заканчивалась ураном ($Z = 92$). С начала 1940-х годов таблица Менделеева пополнялась принципиально новым путём – физическим синтезом. До середины 50-х годов синтезировано 9-элементов. Элемент под номером 101 был назван «менделевий». В последующие годы синтез ядер новых элементов продолжался, но ядра с номером от 102 и далее оказались крайне неустойчивыми.

В настоящее время известно 118 химических элементов.

5.9. Современная формулировка стехиометрических законов

Очень часто вещество понимают как синоним материи, т.е. объективно существующую реальность, что даёт основание считать все виды материи различными веществами. Высокотемпературная плазма, свободные электроны или электронный газ в куске металла, фотоны, атомы одного вида, протоны, нейтроны, а также существующие в природе минералы, воздух, вода с этой точки зрения представляют собой различные вещества. Конечно, при таком определении вещества химия становится всеобъемлющей наукой, охватывающей все естествознание, включая физику, учение о свете, электричестве, атомных ядрах и их строении, что не соответствует содержанию химии как науки.

В качестве определения вещества, которое согласовалось бы с определением химии, может служить следующее: **вещество** есть конкретный вид материи, характеризующийся при данной температуре и данном давлении плотностью: величинами диэлектрической и магнитной проницаемостями, коэффициента преломления, а также точками плавления, и кипения, и рядом других физических свойств. Данное определение охватывает только «индивидуальные» вещества (азот, кислород, оксид углерода, хлорид натрия и др.), поскольку любая их смесь, например газовая смесь (воздух), раствор, в подавляющем большинстве случаев не имеет неизменные при постоянных внешних условиях точки плавления и кипения.

Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева



1	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII						
2	Li 6,94 ЛИТИЙ	Be 9,01 БЕРИЛЛИЙ	B 10,81 БОР	C 12,01 УГЛЕРОД	N 14,01 АЗОТ	O 16,00 КИСЛОРОД	F 18,99 ФТОР	Ne 20,18 НЕОН									He 4,00 ГЕЛИЙ				
3	Na 22,99 НАТРИЙ	Mg 24,31 МАГНИЙ	Al 26,98 АЛЮМИНИЙ	Si 28,09 КРЕМНИЙ	P 30,97 ФОСФОР	S 32,06 СЕРА	Cl 35,45 ХЛОР	Ar 39,95 АРГОН									Co 58,93 КОБАЛЬТ	Ni 58,71 НИКЕЛЬ	Zn 65,38 ЦИНК		
4	K 39,10 КАЛИЙ	Ca 40,08 КАЛЬЦИЙ	Sc 44,96 СКАНДИЙ	Ti 47,88 ТИТАН	V 50,94 ВАНАДИЙ	Cr 51,99 ХРОМ	Mn 54,94 МАРГАНИЦ	Fe 55,85 ЖЕЛЕЗО									Rh 102,91 РОДИЙ	Pd 106,40 ПАЛЛАДИЙ	Cu 63,55 МЕДЬ		
5	Rb 85,47 РУБИДИЙ	Sr 87,62 СТРОНЦИЙ	Y 88,91 ИТРИЙ	Zr 91,22 ЦЕРКОНИЙ	Nb 92,91 НИОБИЙ	Mo 95,94 МОЛИБДАЙ	Tc 98,91 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 101,07 РУТЕНИЙ									Ir 192,22 ИРИДИЙ	Pt 195,09 ПЛАТИНА	Ag 107,87 СЕРЕБРО		
6	Cs 132,91 ЦЕЗИЙ	Ba 137,34 БАРИЙ	La* 138,91 ЛАНТАНЫ	Hf 178,49 ГАФНИЙ	Ta 180,95 ТАНТАЛ	W 183,85 ВОЛЬФРАМ	Re 186,21 РЕЙНИЙ	Os 190,20 ОСМИЙ									Ir 192,22 ИРИДИЙ	Pt 195,09 ПЛАТИНА	Au 196,97 ЗОЛОТО		
7	Fr [223] ФРАНЦИЙ	Ra [226] РАДИЙ	Ac* [227] АКТИНИЙ	Rf [261] РЕЙФОРДИЙ	Hf [263] ГАФНИЙ	Pb [208] СВИНЦ	Bi [209] ВИСМУТ	Po [209] ПОЛОНИЙ	At [210] АСТАТ									Ir 192,22 ИРИДИЙ	Pt 195,09 ПЛАТИНА	Au 196,97 ЗОЛОТО	
8	Ce 140,12 ЦЕЗИЙ	Pr 140,91 ПРОМЕТЕЙ	Nd 144,24 НИОБИЙ	Pm [145] ПРОМЕТЕЙ	Sm 150,36 САМАРИЙ	Eu 151,96 ЕВРОПИЙ	Gd 157,25 ГАДОЛИНИЙ	Tb 158,93 ТЕРБИЙ	Dy 162,50 ДИСПРОЗИЙ									Er 167,26 ИТТЕРБИЙ	Tm 168,93 ТУЛЬИЙ	Yb 173,05 ИТТЕРБИЙ	Lu 174,97 ЛУТЦИЙ
9	Th 232,04 ТОРИЙ	Pa [231] ПРОТАКТИНИЙ	U 238,03 УРАН	Np [237] НЕПУТЦИНИЙ	Pu [244] ПУТОЦИНИЙ	Am [243] АМЕРИЦИЙ	Cm [247] КЕРМАНИЙ	Bk [247] БЕРКЛИЙ	Cf [251] КАЛЬФОРНИЙ									Er 167,26 ИТТЕРБИЙ	Tm 168,93 ТУЛЬИЙ	Yb 173,05 ИТТЕРБИЙ	Lu 174,97 ЛУТЦИЙ

Рис. 5.7. Периодическая система Д.И. Менделеева

В соответствии с этим определением химические элементы и различные смеси вещества нельзя считать веществами, точно так же нельзя ими считать и электроны, позитроны, нейтроны и другие элементарные частицы, являющиеся конкретными видами материи. Вместе с тем каждый химический элемент в свободном виде – **это вещество, обычно называемое «простым»**, так как каждое из них характеризуется указанными выше физическими свойствами.

Если же вещество состоит из нескольких химических элементов, в частности двух, то его **называют сложным веществом** или химическим соединением. Всякое химическое соединение может быть образовано или из элементов, в свободном виде, или при взаимодействии сложных веществ.

На протяжении многих лет все химические соединения **считали стехиометрическими** в соответствии с законом постоянства состава. Закон постоянства состава и стехиометричность соединения считали в химии незыблемыми, а результаты всех исследований подчиняли им и собственно химическим соединением называли только **стехиометрическое соединение**.

В настоящее время установлено, что переменный химический состав в принципе характерен для атомных, металлических и ионных решёток, Акад. Н.Н. Семенов пишет: «Никакой кристалл не имеет строгого стехиометрического состава. Даже такой простой кристалл, как CaF_2 , имеет, по-видимому, в каком-то проценте недостаток ионов фтора и состав его частично выражается формулой CaF ». Известно, что свойства поваренной соли (особенно электрические и оптические свойства) зависят от условий получения – в избытке паров металлического натрия или газообразного хлора. Это объясняется ничтожно малой областью гомогенности, существующей около стехиометрического состава NaCl . Таким образом, хлорид натрия в твердом состоянии действительно представляет собой двустороннюю фазу.

Наибольшие области гомогенности наблюдаются у **металлических соединений**. Для них обычные методы классического химического анализа, как правило, более чем достаточны для установления области нарушения стехиометрического состава. У ионных и атомных координационных решеток количественное определение области гомогенности требует привлечения современных физико-химических и

физических методов. Поэтому длительное время объектами классической химии считались соединения постоянного состава.

У соединений, не имеющих молекулярной структуры, вместо молекулярной массы целесообразно ввести понятие формульной массы. Формульная масса равна сумме атомных масс, умноженных на фактические стехиометрические индексы химических формул соединений.

К примеру, формульная масса оксида титана (2+) состава $\text{TiO}_{0,82}$ равна $47,90 + 16,00 \cdot 0,82 = 61,02$.

Для молекулярных структур формульная масса совпадает с его молекулярной массой.

При образовании подавляющего большинства неорганических соединений их состав может быть переменным в пределах области гомогенности. Постоянный и неизменный химический состав наблюдается только для молекул (например, NH_3 , SO_2 и т. п.), а также кристаллов с молекулярной структурой. А последних среди твердых неорганических веществ очень мало, и они представляют исключения (менее 5%). Таким образом, молекулы являются одной из форм существования химических соединений, но не единственной. Для типичных твердых неорганических веществ и соединений характерна немолекулярная форма существования вещества.

Закон постоянства состава: состав молекулярного соединения остается постоянным независимо от способа получения. В отсутствие молекулярной структуры в данном агрегатном состоянии его состав зависит от условий получения и предыдущей обработки.

Возьмем, к примеру, аммиак. Независимо от способов получения (прямой синтез из элементов, разложение аммонийных солей, действие кислот на нитриды активных металлов и т. п.) состав молекулы аммиака всегда постоянен и неизменен: на атом азота приходится 3 атома водорода. А для оксида титана (2+) состав соединения зависит от условий получения: температуры и давления пара кислорода.

В молекуле аммиака, состоящей лишь из четырех атомов, исключается изменчивость состава. Оксид же титана (2+) представляет собой фазу, состоящую из огромного числа атомов (порядка числа Авогадро), которая и определяет свойства этого соединения. Это – яркий пример перехода количества в качество: коллектив из колоссального числа частиц обладает уже новым качеством – непостоянством состава.

В современной общей и неорганической химии принципиально важным является понятие фазы. **Фаза – гомогенная часть гетерогенной системы, ограниченная поверхностью раздела.** Под системой в химии понимают ограниченную часть пространства, заполненную веществом или смесью веществ. Гомогенные системы физически однородны, если даже неоднородны в химическом отношении. Так, ненасыщенный раствор соли в воде представляет собой пример гомогенной системы, если не считаться с паром над раствором. Поэтому гомогенная система однофазна. Гетерогенные системы состоят более чем из одной фазы.

Количественный состав фазы может меняться в определенных пределах. В данном примере раствора соли в воде предельный количественный состав жидкой фазы совпадает с концентрацией насыщенного раствора при данной температуре. Если содержание соли превышает концентрацию насыщенного раствора, возникает вторая фаза (кристаллы избыточной соли) и система становится гетерогенной. Совершенно очевидно, что газо- и парообразные системы всегда однофазны независимо от качественного и количественного состава. Существенно, что количественный состав твердой фазы также может изменяться в некоторых границах. Это касается не только твердых растворов, но и химических соединений, находящихся в твердом состоянии.

Для немолекулярных кристаллов понятие молекулы лишено смысла. Для них формой существования химического соединения в твердом состоянии является фаза. Поэтому фаза – носитель всех физических, физико-химических и химических свойств вещества, кристаллизующегося в координационной решетке, т.е. свойства вещества немолекулярной структуры зависят от состава и химического строения фаз. В этом заключается фундаментальность понятия фазы в современной химической атомистике.

Закон эквивалентов: для молекулярных соединений массовые количества составляющих элементов точно соответствуют их химическим эквивалентам; при отсутствии молекулярной структуры в данном агрегатном состоянии массовые количества составляющих элементов могут отклоняться от значений их химических эквивалентов. В аммиаке на 1 масс.ч. водорода (его химический эквивалент) точно приходится $14/3$ масс. ч. азота. Последняя величина и есть химиче-

ский эквивалент азота в аммиаке. Для оксида титана (2+) стехиометрического состава TiO 47,90/2 масс. ч. Ti (эквивалент титана в этом соединении) соединяются с 8 масс. ч. кислорода. В оксиде титана состава TiO 0,82 то же количество титана соединяется с $16 \cdot 0,82/2 = 6,56$ масс.ч. кислорода, т.е. на $8 - 6,56 = 1,44$ меньше его химического эквивалента. Итак, если валовый состав соединения содержит дробные индексы, массовые количества составляющих элементов отличаются от их химических эквивалентов.

Закон кратных отношений: если два элемента образуют между собой несколько молекулярных соединений, то массовые количества одного элемента, приходящиеся на одно и то же массовое количество другого, относятся между собой как небольшие целые числа. Для соединений, не имеющих молекулярной структуры, массовые количества одного из них, приходящиеся на одно и то же количество другого, могут относиться между собой как дробные числа.

Не трудно подсчитать, что в оксидах углерода CO_2 , CO и C_3O_2 массовые части углерода, приходящиеся на одну и ту же массовую часть кислорода, например на 16, относятся между собой как простые целые числа 1:2:3.

Даже для молекулярных соединений закон кратных отношений соблюдается неточно. Так, например, в кислородных соединениях углерода отношение массовых частей кислорода, приходящихся на одну и ту же массовую часть углерода, не выражается простыми целыми числами. В примере с оксидами азота наблюдается обратная картина: закон кратных отношений выполняется только при расчете массовых количеств кислорода на постоянную массовую часть азота.

Закон постоянства свойств. Логическим следствием закона постоянства состава является закон постоянства свойств (Пруст, 1806) – свойства вещества не зависят от способа его получения и предыдущей обработки. Совершенно очевидно, что этот закон относится только к молекулярным соединениям. Свойства химических соединений, не имеющих молекулярной структуры, прямо зависят от способа получения и предыдущей обработки. Это прежде всего связано с тем, что количественный состав соединения зависит от условий его получения. А свойства вещества в первую очередь являются функцией состава.

Однако, по Бутлерову, свойства вещества зависят не только от качественного и количественного состава, но и от химического строе-

ния. Но классическая теория химического строения Бутлерова относится к молекулярной химии, поскольку она рассматривает химическое строение именно молекул. Это и понятно, так как во времена Бутлерова вся химия (органическая и неорганическая) развивалась на уровне молекулярной химии.

Подавляющее большинство неорганических веществ в условиях комнатной температуры и атмосферного давления – твердые вещества с немолекулярной структурой. Для них твердое состояние наиболее устойчиво и энергетически выгодно. Поэтому для превращения их в жидкость или пар необходимо затратить энергию (теплоты плавления и испарения). У таких веществ молекулы (например, молекулы NaCl в парах) представляют собой возбужденное состояние с большим запасом внутренней энергии.

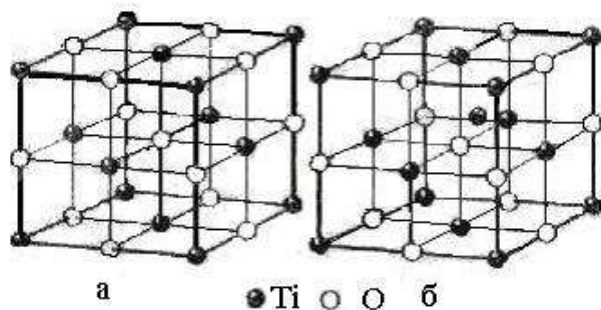


Рис. 5.8. Кристаллическая решетка стехиометрического оксида титана TiO: а) – идеальная структура; б) – атом титана в междоузлии

Существуют химические соединения с упорядоченной структурой атомов или молекул, которые называются **кристаллическими**.

Кристаллохимическое строение – порядок расположения и природа связи атомов или ионов в пределах элементарной ячейки.

На рис. 5.8 а приведена кристаллическая структура высокотемпературной модификации стехиометрического оксида титана TiO. Она показывает только порядок размещения атомов в элементарной ячейке и не отображает природу межатомных связей, а также их взаимное влияние.

На рис. 5.8 б. представлена идеальная структура стехиометрического оксида титана, когда все атомы размещены по узлам решетки. На рис. 5.8 б один атом титана находится в междуузлии, а узел (откуда ушел атом титана) остается незанятым. Рис. 5.8 б отражает различное кристаллохимическое строение оксида титана одного и того же состава. Как показывают опыт и теория, реальные кристаллы предпочтительнее образуют дефектную структуру (рис. 5.8 б.). Концентрация же дефектов (в данном примере атом в междуузлии) находится в зависимости от способа получения и предыдущей обработки вещества.

Итак, кристаллы одного и того же соединения, полученные различными методами, отличаются своей реальной структурой и свойствами. Поэтому при одинаковом качественном и количественном составе веществ с координационной решеткой их свойства зависят от условий получения и предыдущей обработки (например, термической).

Химическое соединение – однородное вещество постоянного или переменного состава с качественно отличным химическим или кристаллохимическим строением, образованное из атомов одного или нескольких химических элементов. Характерной особенностью химического соединения является его **однородность**.

5.10. Химические элементы в организме человека

Организм человека состоит на 70% из воды, 24% приходится на органические вещества и 6% – на неорганические. Основными компонентами органических веществ **являются углерод, водород, кислород**, в их состав входят также **азот, фосфор и сера**. В неорганических веществах организма человека обязательно присутствуют 22 химических элемента: Ca, P, O, Na, Mg, S, B, Cl, K, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cr, Si, I, F, Se. Например, если вес человека составляет 70 кг, то в нем содержится (в граммах): кальция – 1700, калия – 250, натрия – 70, магния – 42, железа – 5, цинка – 3. Ученые договорились, что если массовая доля элемента в организме превышает 10–2 %, то его следует **считать макроэлементом**.

Доля микроэлементов в организме составляет $10^{-3} - 10^{-2}$ %. Если содержание элемента ниже 10–5 %, его считают **ультра микроэлементом**. Конечно, такая градация условна. По ней **магний** попадает в

промежуточную область между макро – и микроэлементами (табл.5.1)..

Таблица 5. 1.

Суточное поступление химических элементов в организм человека

Химический элемент	Суточное поступление, мг	
	взрослые	дети
K	2000 – 5500	530
<u>Na</u>	1100 – 3300	260
<u>Ca</u>	800 – 1200	420
<u>Mg</u>	300 – 400	60
<u>Zn</u>	15	5
<u>Fe</u>	10 – 15	7,0
<u>Mn</u>	2,0 – 5,0	1,3
<u>Cu</u>	1,5 – 3,0	1,0
<u>Mo</u>	0,075 – 0,250	0,06
<u>Cr</u>	0,05–0,2	0,04
<u>Co</u>	Около 0,2 (витамин В12)	0,001
<u>Cl</u>	3200	470
PO	800 – 1200	210
SO	10	–
I	0,15	0,07
<u>Se</u>	0,05 – 0,07	–
F	1,5 – 4,0	0,6

Несомненно, время внесет коррективы в современные представления о числе и биологической роли определенных химических элементов в организме человека. Роль макроэлементов, входящих в состав неорганических веществ, очевидна. Например, основное количество **кальция и фосфора** входит в кости (гидроксофосфат кальция $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), а хлор в виде соляной кислоты содержится в желудочном соке.

Микроэлементы вошли в отмеченный выше ряд 22 элементов, обязательно присутствующих в организме человека. Заметим, что большинство из них – металлы, а из металлов больше половины явля-

ются d- элементами. Последние в организме образуют координационные соединения со сложными органическими молекулами.

Так, установлено, что многие биологические катализаторы – ферменты содержат ионы переходных металлов (d-элементов). Например, известно, что марганец входит в состав 12 различных ферментов, железо – в 70, медь – в 30, а цинк – более, чем в 100. Микроэлементы называют жизненно необходимыми, если при их отсутствии или недостатке нарушается нормальная жизнедеятельность организма (табл. 5.2.).

Например, **недостаток в организме железа приводит к анемии, так как оно входит в состав гемоглобина крови, а точнее, его составной части – гема.** У взрослого человека в крови содержится около **2,6 г** железа. В процессе жизнедеятельности в организме происходят постоянный **распад и синтез гемоглобина.** Для восполнения железа, потерянного с распадом гемоглобина, человеку необходимо суточное поступление в организм с пищей в среднем около **12 мг** этого элемента. Связь анемии с недостатком железа была известна врачам давно, так как еще в XVII веке в некоторых европейских странах при малокровии прописывали настой железных опилок в красном вине. Однако избыток железа в организме тоже вреден. С ним связан сидероз глаз и легких – заболевания, вызываемые отложением соединений железа в тканях этих органов. **Главный регулятор содержания железа в крови – печень.**

Недостаток в организме меди приводит к деструкции кровеносных сосудов, патологическому росту костей, дефектам в соединительных тканях. Кроме того, считают, что дефицит меди служит одной из причин раковых заболеваний.

До определенного содержания этих элементов организм не испытывает вредного воздействия, но при значительном увеличении концентрации они становятся ядовитыми (табл.5.3.).

Встречаются элементы, которые в относительно больших количествах являются ядами, а в низких концентрациях оказывают полезное влияние. Например, **мышьяк – сильный яд, нарушающий сердечно-сосудистую систему и поражающий почки и печень,** в небольших дозах полезен, и врачи прописывают его для улучшения аппетита. **Кислород,** необходимый человеку для дыхания, в высокой концентрации (особенно под давлением) оказывает ядовитое действие.

Из этих примеров видно, что концентрация элемента в организме играет весьма существенную, а порой и катастрофическую роль.

Таблица 5.2.

Характерные симптомы дефицита химических элементов в организме человека

Дефицит элемента	Типичный симптом
Mg	Мышечные судороги
Fe	Анемия, нарушение иммунной системы
Zn	Повреждение кожи, замедление роста, замедление сексуального созревания
Cu	Слабость артерий, нарушение деятельности печени, вторичная анемия
Mn	Бесплодие, ухудшение роста скелета
Mo	Замедление клеточного роста, склонность к кариесу
Co	Злокачественная анемия
Ni	Учащение депрессий, дерматиты
Cr	Симптомы диабета
Si	Нарушение роста скелета
F	Кариес зубов
I	Нарушение работы щитовидной железы, замедление метаболизма
Se	Мышечная (в частности, сердечная) слабость

Среди примесных элементов имеются и такие, которые в малых дозах обладают эффективными лечебными свойствами. Так, давно было замечено бактерицидное (вызывающее гибель различных бактерий) свойство серебра и его солей. Например, в медицине раствор коллоидного серебра (колларгол) применяют для промывания гнойных ран, мочевого пузыря, при хронических циститах и уретитах, а также в виде глазных капель при гнойных конъюнктивитах и бленнорее. Карандаши из нитрата серебра применяют для прижигания бородавок, грануляций.

Таблица 5.3.

Расположение токсических элементов в периодах и группах системы Д.И. Менделеева

Период	Группа						
	VIII	I	II	III	IV	V	VI
II	–	–	<u>Be</u>	–	–	–	–
IV	<u>Ni</u>			–	–	<u>As</u>	<u>Se</u>
V	<u>Pd</u>	<u>Ag</u>	<u>Cd</u>	–		<u>Sb</u>	<u>Te</u>
VI	<u>Pt</u>	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	<u>Ba</u>	<u>Tl</u>	<u>Pb</u>	<u>Bi</u>
							–

В разбавленных растворах (0,1 – 0,25%) нитрат серебра используют как вяжущее и противомикробное средство для примочек, а также в качестве глазных капель. Ученые считают, что прижигающее действие нитрата серебра связано с его взаимодействием с белками тканей, что приводит к образованию белковых солей серебра – альбуминатов. **Серебро** пока не относят к жизненно необходимым элементам. В организм серебро поступает с растительной пищей, например с огурцами и капустой.

В табл. 5.4. приведена Периодическая система, в которой охарактеризована биоактивность отдельных элементов.

Оценка основана на проявлении симптомов дефицита или избытка определенного элемента. Она учитывает следующие симптомы (в порядке возрастания эффекта): 1 – снижение аппетита; 2 – потребность в изменении диеты; 3 – значительные изменения состава тканей; 4 – повышенная повреждаемость одной или нескольких биохимических систем, проявляющаяся в специальных условиях; 5 – недееспособность этих систем в специальных условиях; 6 – субклинические признаки недееспособности; 7 – клинические симптомы недееспособности и повышенная повреждаемость; 8 – заторможенный рост; 9 – отсутствие репродуктивной функции. Крайней формой проявления дефицита или избытка элемента в организме является смертельный исход. Оценка биоактивности элемента сделана по девятибалльной шкале в

зависимости от характера симптома, для которого выявлена специфичность.

Таблица 5.4.

Характеристика биологической активности химических элементов

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VI B	VII B	VIII B			IB	IIIB	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIIIA
H 1																	He
<u>Li</u> 3	<u>Be</u>											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	<u>Ne</u>
<u>Na</u> 11	<u>Mg</u> 12											<u>Al</u> 13	<u>Si</u> 14	P 15	S 16	<u>Cl</u> 17	<u>Ar</u> 18
K 19	<u>Ca</u> 20	<u>Sc</u> 21	<u>Ti</u> 22	V 23	Cr 24	<u>Mn</u> 25	<u>Fe</u> 26	<u>Cu</u> 29	<u>Zn</u> 30	<u>Ga</u> 31	<u>Ge</u> 32	<u>As</u> 33	<u>Se</u> 34	Br 35	Kr 36	<u>Br</u> 35	<u>Kr</u> 36
<u>Rb</u> 37	<u>Sr</u> 38	<u>Y</u> 39	<u>Zr</u> 40	<u>Nb</u> 41	<u>Mo</u> 42	<u>C</u> 43	<u>Ru</u> 44	<u>Rh</u> 45	<u>Pd</u> 46	<u>Ag</u> 47	<u>Cd</u> 48	<u>In</u> 49	<u>Sn</u> 50	<u>Sb</u> 51	<u>Te</u> 52	<u>I</u> 53	<u>Xe</u> 54
<u>Cs</u> 55	<u>Ba</u> 56	<u>La</u> 57	<u>Hf</u> 72	Ta 73	W 74	<u>Re</u> 75	<u>Os</u> 76	<u>Ir</u> 77	<u>Pt</u> 78	<u>Au</u> 79	<u>Hg</u> 80	<u>Tl</u> 81	<u>Pb</u> 82	<u>Bi</u> 83	<u>Po</u> 84	<u>At</u> 85	<u>Rn</u> 86
<u>Fr</u> 87	<u>Ra</u> 88	<u>Ac</u> 89															
				Ce 58	<u>Pr</u> 59	<u>Nd</u> 60	<u>Pm</u> 61	<u>Sm</u> 62	<u>Eu</u> 63	<u>Gd</u> 64	<u>Tb</u> 65	<u>Dy</u> 66	<u>Ho</u> 67	<u>Er</u> 68	<u>Tm</u> 69	<u>Yb</u> 70	<u>Lu</u> 71
				<u>Th</u> 90	<u>Pa</u> 91	<u>U</u> 92	<u>Np</u> 93	<u>Pu</u> 94	<u>Am</u> 95	<u>Cm</u> 96	<u>Bk</u> 97	<u>Cf</u> 98	<u>Es</u> 99	<u>Fm</u> 100	<u>Md</u> 101	<u>No</u> 102	<u>Lo</u> 103

При такой оценке наиболее высоким баллом характеризуются жизненно необходимые элементы.

Выявление биологической роли отдельных химических элементов в функционировании живых организмов (человека, животных, растений) – важная и увлекательная задача. Минеральные вещества, как и витамины, часто действуют как коферменты при катализе химических реакции, происходящих все время в организме.

Контрольные вопросы к главе 5

1. Охарактеризуйте концептуальные уровни современной химии.

2. Опишите ионную и ковалентную связи в химии.
3. Расскажите понятие о молекулярных орбиталях.
4. Охарактеризуйте координационную и металлическую связи.
5. Опишите фундаментальные основы химии.
6. Охарактеризуйте периодический закон Д.И. Менделеева.
7. В чём смысл современной формулировки стехиометрических законов?
8. Опишите химические элементы в организме человека.

ГЛАВА 6. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ

6.1. Предмет экологии

Экологию рассматривают как науку, которая призвана изучать взаимоотношения организмов и среды во всем их разнообразии. При этом под средой понимается не только мир неживой природы, но и воздействие одних организмов или их сообществ на другие организмы и сообщества.

Термин «экология» был введен немецким естествоиспытателем Э. Геккелем в 1866 году и в дословном переводе с греческого языка обозначает - наука о доме (ойкос – дом, жилище; логос – учение).

По этой причине экологию иногда связывают только с учением о среде обитания (доме) или окружающей среде.

С момента появления экологии она развивалась в рамках биологии практически на протяжении целого века – до 60-70-х годов прошлого столетия. Человек в этих системах, как правило, не рассматривался – полагалось, что его взаимоотношения со средой подчиняются не биологическим, а социальным закономерностям и является объектом общественно-философских наук.

В настоящее время термин «экология» существенно трансформировался. Она стала больше ориентированной на человека в связи с его исключительно масштабным и специфическим влиянием на среду.

Сказанное позволяет дополнить **определение «экологии»** и **назвать задачи**, которые она призвана решить в настоящее время. **Современную экологию** можно рассматривать как науку, занимающуюся изучением взаимоотношений организмов со средой; определе-

нием масштабов и допустимых пределов воздействия человеческого общества на среду; возможностей уменьшения этих воздействий или их полной нейтрализации. В стратегическом плане – это наука о выживании человечества на планете Земля.

Таким образом, **содержание термина «экология»** приобрело социально политический, философский смысл. Она стала проникать практически во все отрасли знаний и активно внедряется в гуманитарные области знаний. Экология при этом рассматривается не только как самостоятельная дисциплина, а как мировоззрение, призванное пронизывать все науки, технологические процессы и сферы деятельности людей.

Поэтому экологическая подготовка должна идти, по крайней мере, **по двум направлениям:** через изучение специальных интегральных курсов и через экологизацию всей научной, производственной и педагогической деятельности.

Наряду с экологическим образованием существенное внимание уделяется экологическому воспитанию, с которым связывается бережное отношение к природе, культурному наследию, социальным благам. Без серьезного общеэкологического образования решение этой задачи также весьма проблематично.

«Социальная экология» рассматривает взаимоотношения в системе «общество – природа», специфическую роль человека в системах различного ранга, отличие этой роли от других живых существ, пути оптимизации взаимоотношений человека со средой, теоретические основы рационального природопользования.

С точки зрения основного содержания предмета **«Общая экология»** есть не что иное, как экология природных систем и учение о природной среде, а **«Социальная и прикладная экология»** – экология измененных человеком природных систем и среды, или экология природно-антропогенных систем и учение о природно-антропогенной (иногда техногенной) среде.

Общеэкологические подходы к рассмотрению и оценке природных явлений имеют длительную историю. По сути своей в значительной мере экологичными были труды первых ученых-естествоиспытателей, искавших зависимости между свойствами живых существ и условиями обитания: Аристотель (384 – 322 г. до н.э.), его ученик-ботаник Теофраст (371 – 280г. до н.э.). Много ценных ма-

териалов поставили исследователи-натуралисты, занимавшиеся описанием и систематизацией растений и животных.

Особо следует выделить труд Ч. Дарвина «Происхождение видов» (1859), в котором большое внимание уделяется приспособлениям (адаптациям) и взаимоотношениям организмов. **Э. Геккель, вводя термин «экология»**, отмечал, что одной из задач данной науки является исследование всех тех взаимоотношений организмов, которые Ч. Дарвин условно обозначил как борьбу за существование.

Из отечественных ученых наиболее существенный вклад в развитие отдельных разделов общей экологии внесли В. В. Докучаев (1846 – 1903) и его ученики Г.Ф. Морозов, Г.Н. Высоцкий, В.И. Вернадский и др. В.В. Докучаев показал тесную взаимосвязь живых организмов и неживой природы на примере почвообразования и выделения природных зон. Г.Ф. Морозов (1867 – 1920) раскрыл всесторонние связи в лесных сообществах и рассмотрел их как единые системы, включающие весь свойственный им комплекс живых организмов и условий обитания, их средообразовательную роль. Исследования конкретных вопросов степного лесоразделения проводил ботаник, почвовед, географ Г.Н. Высоцкий (1865 – 1940). В.И. Вернадский (1863– 1945) применил системный подход к раскрытию основополагающих геологических явлений и их эволюции и показал определяющую роль живых организмов и продуктов их жизнедеятельности в этих явлениях. Он стал автором учения о биосфере и закономерностях ее существования, устойчивости и развития.

Оригинальные и интересные исследования по комплексному изучению лесных систем (сообществ) провел В.Н. Сукачев (1880 – 1967), результатом которых явилось всестороннее рассмотрение единства и взаимообусловленности природных явлений, живой и неживой материи. Им в 1942г. введен в науку **термин «биогеоценоз»** и раскрыто его содержание.

Несколько ранее (в 1935г.) подобные идеи сформулировал английский ботаник-эколог А. Тенсли, ввел **термин «экосистема»** и дал его определение. В настоящее время эти понятия являются определяющими для экологии как науки.

Одно из первых высказываний, относящихся к сфере **социальной экологии**, принадлежит французскому естествоиспытателю-эволюционисту Жану-Батисту Ламарку (1744 – 1829). Он, наряду с

раскрытием ряда закономерностей влияния среды на организмы, впервые обратил серьезное внимание на специфическую роль человека и ее возможные катастрофические последствия. Он писал: «Можно сказать, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания». Это высказывание совпадает с «Пророчествами» Леонардо да Винчи (1452 - 1519), предрекавшего появление существ, результаты деятельности которых «... ничего не оставят ни на земле, ни под водой, что не было бы преследуемо и не подвергалось искоренению...».

Различные аспекты социальной и прикладной экологии и смежных с ней дисциплин содержатся в трудах и учебниках М.И. Будыко, Н.Н. Моисеева, Н.Ф. Реймерса, А.В. Яблокова, Б.Г. Розанова, Б. Коммонера, а также в переведенных на русский язык трудах по проблемам экологии Б. Небела, Миллера, П. Ревелля, Ч. Ревелля, Л.Р. Брауна и др.

6.2. Социальная экология

Социальная экология – научная дисциплина, рассматривающая соотношение общества с географической, социальной и культурной средами, т.е. со средой, окружающей человека. Сообщества людей со средой имеют доминантную социальную организацию (рассматриваются уровни от элементарных социальных групп до человечества в целом). История возникновения общества давно изучается антропологами и обществоведами–социологами. **Антропология** – наука об изменчивости внутри родов, видов и видовых особенностей семейства гоминидов. В антропологии привлекаются данные биологии, молекулярной биологии, генетики, химической палеогенетики, палеогеографии, археологии, геологии и т.д. Она включает изучение биологических (морфологических и физиологических) особенностей *Homo sapiens* и его ископаемых предков и занимает особое место в системе естественных и социальных наук о человеке.

На протяжении большей части человеческой истории рост численности народонаселения был почти неощутим. Медленно она набирала силу на протяжении XX в. и чрезвычайно резко увеличилась по-

сле второй мировой войны. Это дало повод говорить о «демографическом взрыве».

Население мира увеличивается сегодня на 250 тыс. человек ежедневно, 1 млн. 750 тыс. каждую неделю, 7,5 млн. в месяц, 90 млн. в год. По данным ООН, основной прирост населения нашей планеты приходится на развивающиеся страны. Распределение плотности населения на земном шаре весьма неравномерно. Эта неравномерность ярко проявляется даже в пределах одной страны из-за концентрации населения в городах.

Быстрый рост населения в развивающихся странах резко обостряет экологические и социальные проблемы. Это связано с нехваткой продуктов питания, питьевой воды, перенаселения, несоблюдением гигиены, загрязнением отходами, развитием разного рода болезней и др.

В развивающемся мире самой распространённой болезнью является **малярия**. В конце 80-х годов около 270 миллионов человек были больны малярией. В 1993 году она унесла жизнь 2 миллионов человек. Второе место занимает **шистозоматоз**; в конце 80-х годов им болело 200 миллионов человек. Не побеждена **«сонная болезнь»**, переносчиком которой служит муха цеце. Весьма распространены: корь, столбняк, дифтерия, туберкулёз и т. д. Туберкулёз в 1993 году послужил причиной смерти 2,7 миллионов человек.

Серьёзной проблемой для многих стран является гепатит, который часто переходит в хроническую форму с осложнениями типа цирроз-апервичного рака печени. Среди основных инфекционных заболеваний **СПИД** распространяется наиболее быстро. Ожидается, что вскоре на долю этой болезни будет приходиться самое большое количество смертей. Эпицентр заражения ВИЧ переместится из Африки в Азию, число инфицированных им в 1995 году достигло рекордной отметки в 4,7 миллиона человек.

Ныне естественная и преждевременная убыль не оказывает существенного влияния на рост численности. В частности:

– в США ежегодно погибает в автокатастрофах свыше 50 тысяч человек, а компенсация происходит за 10 дней.

– в Индии несколько лет назад приливной волной смыло прибрежный рисоводческий район, где погибло полмиллиона человек; компенсация около 30-ти дней.

– 13-18 миллионов человек в год регулярно погибает от голода и неполноценного питания, с учётом прироста около 90 миллионов человек; компенсация происходит за 2,4 месяца. По темпам урбанизация в развивающихся странах идет гораздо быстрее индустриализации. Люди бегут в города, которые чисто экономически не способны обеспечить им работу, жилье, воду, санитарные и другие элементарные условия. Это ведет к превращению городов в трущобы с сопутствующими им социальной напряженностью, преступностью и другими проблемами. Крупные города давно уже перестали быть исключительной принадлежностью промышленно развитых стран. К1960 году три из десяти крупнейших городов мира находились в развивающихся странах.

6.3. Глобальные экологические проблемы современности

В новое время человечество, с точки зрения отношений с природной средой, начало практически под тем же знаком. Существование человеческой цивилизации по-прежнему остается крупнейшей экологической проблемой современности.

За прошедшие тысячелетия цивилизация и технологии сделали заметный скачок в своём развитии. Изменился вид человеческих поселений, канули в Лету языки древности, сам внешний облик «человека разумного» изменился до неузнаваемости. Но одно в жизни человека осталось неизменным: все, что цивилизация способна собрать в своих амбарах, складировать за высокими заборами специальных баз, распахать по полкам домашних шкафов и холодильников – все это взято из окружающей среды. И весь ритм жизни человечества, как в прошедшие эпохи, так и сегодня, определялся одним – возможностью доступа к тем или иным природным ресурсам.

За годы такого сосуществования с природой запасы природных ресурсов заметно сократились. Правда, сама природа позаботилась о том, чтобы обеспечить человека, вечного иждивенца, в том числе и практически неисчерпаемой ресурсной базой. Принято считать, что природы, как и денег, много не бывает. Не известно, что на этот счет думают все жители планеты, но их влияние на природу ощущается практически везде. Как известно, суша в настоящее время составляет: 1/6 планеты – ту часть планеты, на которой и обитает человек.

Охрана почв от человека является одной из важнейших задач человека, так как любые вредные соединения, находящиеся в почве, рано или поздно попадают в организм человека.

Во-первых, происходит постоянное вымывание загрязнений в открытые водоемы и грунтовые воды, которые могут использоваться человеком для питья и других нужд.

Во-вторых, эти загрязнения из почвенной влаги, грунтовых вод и открытых водоемов попадают в организмы животных и растений, употребляющих эту воду, а затем по пищевым цепочкам опять-таки попадают в организм человека.

В-третьих, многие вредные для человеческого организма соединения имеют способность аккумулироваться в тканях, и, прежде всего, в костях.

По оценкам исследователей, в биосферу поступает ежегодно около 20-30 млрд. т. твердых отходов, из них 50 – 60 % органических соединений, а в виде кислотных агентов газового или аэрозольного характера – около 1 млрд. т. И всё это на 7 млрд. человек!

Как же вещества-загрязнители литосферы попадают в почву? Различные почвенные загрязнения, большинство из которых антропогенного характера, можно разделить по источнику поступления этих загрязнений в почву:

1) **атмосферными осадками**. Многие химические соединения (газы – оксиды серы и азота), попадающие в атмосферу в результате работы предприятий, затем растворяются в капельках атмосферной влаги и с осадками попадают в почву;

2) **осаждающиеся в виде пыли и аэрозолей**. Твердые и жидкие соединения при сухой погоде обычно оседают непосредственно в виде пыли и аэрозолей;

3) **при непосредственном поглощении почвой газообразных соединений**. В сухую погоду газы могут непосредственно поглощаться почвой, особенно влажной;

4) **с растительным опадом**. Вредные различные соединения, в любом агрегатном состоянии, поглощаются листьями через устьица или оседают на поверхности. Затем, когда листья опадают, все эти соединения поступают в почву.

Загрязнения почвы трудно классифицируются, в разных источниках их деление дается по-разному. Если обобщить и выделить главное, то наблюдается следующая картина загрязнения почвы: **мусором, выбросами, отвалами, отстойными породами, тяжелыми металлами, пестицидами, микотоксинами, радиоактивными веществами.**

Существуют природные ресурсы, необходимые человечеству, как воздух. Но нет, пожалуй, такого ресурса, кроме самого воздуха, отсутствие которого становилось бы нерешимой проблемой для человека уже менее чем через минуту.

Известно, что загрязнение атмосферы происходит в основном в результате работы промышленности, транспорта, тепловых и атомных электростанций и т. п., которые в совокупности выбрасывают ежегодно «на ветер» **более миллиарда тонн твердых и газообразных частиц.**

Основными загрязнителями атмосферы на сегодняшний день являются **оксид углерода и сернистый газ.** Но, конечно, нельзя забывать и о **фреонах, или хлорфторуглеводородах.** Именно их большинство ученых считают причиной образования так **называемых озоновых дыр** в атмосфере. Фреоны широко используются в производстве и в быту в качестве хладореагентов, пенообразователей, растворителей, а также в аэрозольных упаковках. А именно, с понижением содержания озона в верхних слоях атмосферы медики связывают рост количества раковых заболеваний кожи.

Известно, что атмосферный озон образуется в результате сложных фотохимических реакций под воздействием ультрафиолетовых излучений Солнца. Хотя его содержание невелико, его значение для биосферы огромно. **Озон**, поглощая ультрафиолетовое излучение, предохраняет все живое на земле от гибели. **Фреоны** же, попадая в атмосферу, под действием солнечного излучения распадаются на ряд соединений, из которых **оксид хлора** наиболее интенсивно разрушает озон.

Благодатные капли дождя – еще один дар небес – всегда радовали человека. Но в некоторых районах земного шара дожди превратились в серьезную опасность. Возникла сложная и трудная в своем решении **проблема кислотных дождей**, которая на международном уровне была впервые поднята **Швецией на конференции ООН по окружа-**

ющей среде. С тех пор она превратилась в одну из главных природоохранных проблем человечества. **Кислотные дожди** губительно действуют на природу водоемов, наносят ущерб лесной растительности и сельскохозяйственным культурам, наконец, все эти вещества представляют определенную опасность для жизни человека.

Третий, не менее важный, чем небо над головой и земля под ногами, **фактор** существования цивилизации – **водные ресурсы планеты.** На свои нужды человечество использует главным образом **пресные воды.** Их объем составляет чуть **больше 2% гидросферы,** причем распределение водных ресурсов по земному шару крайне неравномерно. **В Европе и Азии, где проживает 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% речных вод.**

Общее же потребление речных вод возрастает из года в год во всех районах мира. **Известно, например, что в XX веке потребление пресных вод возросло в 6 раз, а в ближайшие несколько десятилетий возрастет еще по меньшей мере в 1,5 раза.**

Недостаток воды усугубляется ухудшением ее качества. Используемые в промышленности, сельском хозяйстве и в быту воды поступают обратно в водоемы в виде плохо очищенных или вообще неочищенных стоков.

Таким образом, загрязнение гидросферы происходит, прежде всего, в результате сброса в реки, озера и моря промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод. Согласно расчетам ученых, в конце XX века для разбавления этих самых сточных вод требовалось 25 тыс. км³. пресной воды, или практически все реально доступные ресурсы такого стока! Нетрудно догадаться, что именно в этом, а не в росте непосредственного водозабора – главная причина обострения проблемы пресной воды.

В настоящее время к числу сильно загрязненных относятся многие реки – Рейн, Дунай, Сена, Огайо, Волга, Днепр, Днестр и др. Растет загрязнение мирового океана. Причем здесь существенную роль играет не только загрязнение стоками, но и попадание в воды морей и океанов большого количества нефтепродуктов. В целом, наиболее загрязнены внутренние моря – Средиземное, Северное, Балтийское, Внутреннее Японское, Яванское, а также Бискайский, Персидский и Мексиканский заливы.

Кроме того, человек осуществляет преобразование вод гидросферы путем строительства гидротехнических сооружений, в частности водохранилищ. Крупные водохранилища и каналы оказывают серьезное отрицательное воздействие на окружающую среду: изменяют режим грунтовых вод в прибрежной полосе, влияют на почвы и растительные сообщества, в конце концов, их акватории занимают большие участки плодородных земель.

Изменяя свой мир, человек, желает он того или нет, существенно вмешивается в жизнь своих соседей по планете. По данным Международного союза охраны природы, с 1600 г. на Земле вымерло 94 вида птиц и 63 вида млекопитающих. Кроме того, уменьшаются в количестве и исчезают редкие насекомые, что связано как с реакцией на применение различного рода пестицидов, так и с уничтожением их коренных мест обитания.

6.4 Глобальные экологические проблемы: перспективы развития и решения

Говоря о возможных вариантах развития экологической ситуации на планете, самым благодарным и, само собой, наиболее осмысленным, кажется разговор о некоторых из существующих сегодня направлениях природоохранной деятельности.

Несмотря на то, что каждая из обсуждавшихся глобальных проблем имеет свои варианты частичного или более полного решения, существует некий набор общих подходов к решению проблем окружающей среды. Кроме того, за последнее столетие человечество разработало ряд оригинальных способов борьбы с собственными, губящими природу недостатками.

К числу таких способов (или возможных путей решения проблемы) можно отнести возникновение и деятельность разного рода «зеленых» движений и организаций.

Кроме разного рода объединений, отстаивающих у цивилизации права постепенно уничтожаемой ею природы, в сфере решения экологических проблем существует целый ряд государственных или общественных природоохранных инициатив. Например, природоохранное законодательство в России и других странах мира, различные международные соглашения или система «Красных книг». Международная

«Красная книга» – список редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений - в настоящий момент включает 5 томов материалов. Кроме того, существуют национальные и даже региональные «Красные книги».

В числе важнейших путей решения экологических проблем большинство исследователей также выделяет внедрение экологически чистых, мало- и безотходных технологий, строительство очистных сооружений, рациональное размещение производства и использование природных ресурсов.

Хотя, несомненно, – и это доказывает весь ход человеческой истории - важнейшим направлением решения стоящих перед цивилизацией экологических проблем стоит назвать повышение экологической культуры человека, серьезное экологическое образование и воспитание, все то, что искореняет главный экологический конфликт – конфликт между дикарем-потребителем и разумным обитателем хрупкого мира, существующий в сознании человека.

6.4.1. Загрязнение атмосферы

Еще в начале шестидесятых годов XX в. считали, что загрязнение атмосферы – это локальная проблема больших городов и промышленных центров, но позже стало ясно, что атмосферные загрязнители способны распространяться по воздуху на большие расстояния, оказывая неблагоприятное воздействие на районы, находящиеся на значительном удалении от места выброса этих веществ. Таким образом, загрязнение атмосферы – это глобальное явление, и для контроля за ним необходимо международное сотрудничество. К числу наиболее распространенных загрязнителей атмосферы относятся такие газы, как хлорфторуглероды, диоксид серы (SO₂), углеводороды и оксиды азота.

Загрязнение может привести к значительному снижению естественной концентрации газов, входящих в состав атмосферы, например озона в стратосфере. Но поразительно другое: концентрация озона выше в тех районах, где среднемесячное содержание загрязнителей в нижних слоях атмосферы составляет 200 млн.–1, чем там, где максимальная величина загрязнения не превышает 0,04 млн.–1. Подобные аномалии высоких концентраций озона наносят ущерб многим сель-

скохозяйственным культурам, например, томатам: суммарные потери урожая за счет избытка озона составляют в Калифорнии около 1 млрд. долларов в год. В сочетании с углеводородами и соединениями группы NO_x озон может представлять собой прямую опасность для здоровья людей, и кроме того, является одной из важных составных частей фотохимического смога. Пыль, шум, чрезмерное количество тепла, радиация и электромагнитные поля - все это загрязнение атмосферы. (1млн-1 = 1ppm – это единица измерения концентрации газа озонового слоя, один озон на каждый миллион частиц газа).

6.4.2. Обеднение озонового слоя

Атмосфера – это термостатический и радиационный щит Земли. В верхних слоях атмосферы на высоте 15 – 50 км от земной поверхности кислород и озон поглощают большую часть ультрафиолетового излучения, рентгеновских и гамма-лучей, которые по своей физической природе пагубны для живых существ, так как разрушают генетический аппарат. По оценкам экологов при уменьшении концентрации озона стратосферы на 5% интенсивность ультрафиолетового излучения у поверхности Земли возрастет на 7,5 – 15%, что может повлечь за собой увеличение заболеваемости раком кожи на десятки, а то и сотни тысяч случаев в год. При поглощении излучения озоном происходит прогрев стратосферы, возникает хорошо выраженный слой температурной инверсии (в отличие от температуры стратосферы, температура тропосферы, т.е. нижнего слоя атмосферы, по мере возрастания высоты падает). Существование этого слоя заметно ограничивает интенсивность и масштабы конвективного перемешивания атмосферы, поэтому любые нарушения слоя инверсии приведут к резкой глобальной смене погодных условий, а значит и к изменению климата на Земле.

6.4.3. Загрязнение воды

Эвтрофикации, вызванной применением чрезмерного количества удобрений при интенсивном ведении сельского хозяйства, а также сточными водами, обогащенными фосфатами, явилась главной проблемой водоемов в XX столетии. Такие ситуации все чаще возникают то в одном, то в другом уголке земного шара, затрагивая не только

пресноводные, но и морские экосистемы. Например, летом 1988 года огромное, протяженностью в несколько миль пятно «цветения» планктонных водорослей покрыло часть Северного моря и достигло Балтики. Сброс плохо очищенных сточных вод из населенных пунктов побережья приводит к возникновению прямой угрозы для здоровья купающихся в море людей и для морских животных.

Городские стоки и крупные свалки часто бывают причиной загрязнения вод тяжелыми металлами и углеводородами. Поскольку тяжелые металлы накапливаются в морских пищевых цепях, их концентрация может достигнуть летальных доз, что и произошло после большого промышленного выброса ртути в прибрежные воды Японии вблизи города Минимата. Повышенная концентрация этого металла в тканях рыбы привела к гибели многих людей и животных, съевших зараженный продукт. Сублетальные дозы тяжелых металлов, пестицидов и продуктов переработки нефти могут заметно ослаблять защитные свойства организмов.

Концентрация полихлорбифенилов (известны еще как канцерогены) в Северном море достигает в настоящее время 0,000002 млн.–1, а в тканях дельфинов, представляющих собой конечное звено пищевой цепи, их концентрация достигает уже 16 млн.–1. Страны, расположенные на побережье Северного моря с недавнего времени проводят комплекс мероприятий, направленных на снижение, а в перспективе и на полное прекращение сброса в море и сжигания токсических отходов. Что же касается законодательных мер по контролю над нефтяным загрязнением при работе нефтяных терминалов и слива балластной воды из нефтеналивных судов, то они были приняты гораздо раньше, после того как стала очевидной опасность больших разливов нефти из танкеров (как, например это было при аварии Торри Каньон в 1967 г.). Результаты исследований показали, однако, что малоизвестные небольшие по объему, но постоянно повторяющиеся разливы и утечки нефти наносят экосистемам даже больший ущерб, чем нашумевшие катастрофы. **Детергенты**, применяемые для уничтожения нефтяных пятен с поверхности моря, часто оказываются более опасными для среды, чем сама нефть. Настоятельно необходимо дальнейшее изучение проблемы и дальнейшее совершенствование мониторинга нефтяного загрязнения моря.

Еще одна серьезная проблема связана с эрозией почвы. В результате эрозии увеличивается количество взвеси в речных и морских прибрежных водах. Есть данные о том, что наличие взвеси в воде благоприятно для рыболовства, однако это не доказано. Вместе с тем совершенно очевидно, что осаждение чрезмерного количества взвеси ведет к разрушению коралловых рифов. Так, на Большой барьерный риф неблагоприятное воздействие оказало уничтожение лесов на континенте.

6.4.4 Уничтожение лесных богатств Земли

Лес – это естественная устойчивая формация растительного покрова обширных областей земного шара, занимавшая до последнего времени одну треть поверхности суши. Если площадь, занятая лесами умеренной зоны, уменьшается незначительно, то тропические леса исчезают с большой скоростью. Например, к 2004 году они занимали лишь 30 млн. га или 7% суммарной поверхности суши, тогда как в 1950 году эта цифра составляла 15%. **Каждый год в мире уничтожается на 1,2 млн. га** (что равно площади Англии), а еще 10 млн. га лесов деградируют, так как вырубка ценных пород на этих площадях не сопровождается соответствующим лесоустройством и природоохранными мероприятиями. Между тем тропические леса крайне нуждаются в охране. В древесине ценных пород заинтересованы практически все страны мира, следовательно, все они должны отвечать за состояние тропических лесов. Страны Третьего мира, где эти леса произрастают, слабо развиты и не в состоянии самостоятельно справиться с этой задачей.

Традиционная практика расчистки лесов под пашню с помощью подсеčno-огневого метода долгое время не приносило лесу ощутимого вреда, так как плотность населения была невелика. Необходимо также подчеркнуть, что времени, на которое поле забрасывали, и оно снова зарастало, хватало для того, чтобы восстанавливалась естественная лесная экосистема и плодородие лесных почв. Позже, когда численность населения возросла, и появились такие конкурентные виды землепользования, как постоянные сельскохозяйственные плантации или затопление при строительстве ГЭС, периода «отдыха» земли стало не хватать, и для освобождения новых посевных площадей потребова-

лась дополнительная вырубка лесов. Но развитие сельского хозяйства – не единственная причина уничтожения тропического леса: там заготавливают дрова и ценную древесину тропических пород, кроме того, лес вырубает и выжигают, расчищая пространства под пастбища.

6.4.5. Эрозия почвы и потеря плодородных земель

Уничтожение лесов – не единственная причина эрозии почвы: это явление наблюдается и при чрезмерной эксплуатации пашни и пастбищ. Формирование почвы длительный процесс и сейчас на планете в целом разрушение почвы происходит гораздо интенсивнее, чем ее образование. Особенно значительная эрозия возникает в холмистых местностях, где выпадает много осадков и происходит активная вспашка земли. Во многих районах Юго-Восточной Азии издавна существует система террасного земледелия, которая позволяет хорошо удерживать почву даже там, где нет леса. Применение этого агроприема наряду с безотвальной вспашкой сооружением на полях перемычек, препятствующих вымыванию почвы во время дождей – основные меры борьбы с эрозией. Примеры такой берегающей почву культуры земледелия имеются на Бали, тогда как на соседней Яве быстрый рост населения и преобладание мелких единоличных хозяйств привели к значительному оскудению запасов плодородных земель. Вследствие эрозии во всем мире ежегодно теряется 5 млн. га плодородной пахотной земли.

На пастбищах, где происходит перевыпас скота, часто уничтожается растительный покров, удерживающий плодородный слой почвы. Растения выедаются целиком и погибают, в результате чего дождевая вода беспрепятственно размывает поверхность почвы, вызывая обширную эрозию, что в конечном итоге ведет к возникновению глубоких оврагов. Ежегодно в мире из-за перевыпаса и последующей эрозии теряется около 7 млн. га пастбищных угодий, многие из которых превращаются в пустыню.

Экологические познания и понимание принципов функционирования эволюции систем жизнеобеспечения Земли заставило многих критически взглянуть на то, как используются ресурсы планеты. Если мы хотим, чтобы эксплуатируемые виды растений и животных вос-

становливались, а среда обитания была пригодна для жизни, нам необходимо руководствоваться концепциями «зеленых».

В Международной программе охраны природы впервые выдвинута концепция оптимального использования экосистем Земли. Согласно ей, все население земного шара может рассчитывать на удовлетворительные условия существования до тех пор, пока система жизнеобеспечения используется нормально и не происходит подавления других обитателей планеты, ведущего к их гибели. Многие представители флоры и фауны Земли могут оказаться в будущем более полезными, чем это представляется сейчас.

6.5. Экологические проблемы энергетики

Энергетика – это та отрасль производства, которая развивается невиданно быстрыми темпами. Если численность населения в условиях современного демографического взрыва удваивается за 40 – 50 лет, то в производстве и потреблении энергии это происходит через каждые 12 – 15 лет. При таком соотношении темпов роста населения и энергетики, энерговооруженность лавинообразно увеличивается не только в суммарном выражении, но и в расчете на душу населения.

Известно, что темпы производства и потребления энергии в ближайшей перспективе существенно изменятся поэтому важно получить ответы на следующие вопросы:

1) какое влияние на биосферу оказывают современные виды (тепловой, водной, атомной) энергетики и как будет изменяться соотношение этих видов в энергетическом балансе в ближайшей и отдаленной перспективе;

2) можно ли уменьшить отрицательное воздействие на среду современных (традиционных) методов получения и использования энергии;

3) каковы возможности производства энергии за счет альтернативных (нетрадиционных) ресурсов, таких как энергия солнца, ветра, термальных вод и других источников, которые относятся к неисчерпаемым и экологически чистым.

В настоящее время энергетические потребности обеспечиваются в основном за счет трех видов энергоресурсов: органического топлива, воды и атомного ядра. Энергия воды и атомная энергия используются

человеком после превращения ее в электрическую энергию. В то же время значительное количество энергии, заключенной в органическом топливе, используется в виде тепловой, и только часть ее превращается в электрическую. Однако и в том и в другом случае высвобождение энергии из органического топлива связано с его сжиганием, а, следовательно, и с поступлением продуктов

6.5.1. Экологические проблемы тепловой энергетики

За счет сжигания топлива (включая дрова и другие биоресурсы) в настоящее время производится около 80% энергии. Доля тепловых источников уменьшается до 60 – 75% в производстве электроэнергии. При этом в промышленно развитых странах нефть и нефтепродукты используются в основном для обеспечения нужд транспорта. Например, в США нефть в общем энергобалансе страны составляла 44%, а в получении электроэнергии – только 3%. Для угля характерна противоположная закономерность. При 22% в общем энергобалансе он является основным в получении электроэнергии – 52%. В Китае доля угля в получении электроэнергии близка к 75%, в то же время в России преобладающим источником получения электроэнергии является природный газ (около 40%), а на долю угля приходится только 18% получаемой энергии, доля нефти не превышает 10%.

В мировом масштабе гидроресурсы обеспечивают получение около 5-6% электроэнергии (в России 20,5%), атомная энергетика дает 17 – 18%. В России ее доля близка к 12%, а в ряде стран она является преобладающей в энергетическом балансе (Франция – 74%, Бельгия – 61%, Швеция – 45%).

Сжигание топлива – не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в среду загрязняющих веществ. Тепловые электростанции в наибольшей степени «ответственны» за усиливающийся парниковый эффект и выпадение кислотных осадков. Они, вместе с транспортом, поставляют в атмосферу основную долю техногенного углерода (в основном в виде CO_2), около 50%, 35% оксидов азота и около 35% пыли. Имеются данные, что тепловые электростанции в 2 – 4 раза сильнее загрязняют среду радиоактивными веществами, чем АЭС такой же мощности.

В выбросах ТЭС содержится значительное количество металлов и их соединений. При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн. кВт содержится алюминия и его соединений свыше 100 млн. доз, железа – 400 млн. доз, магния – 1,5 млн. доз. Летальный эффект этих загрязнителей не проявляется только потому, что они попадают в организмы в незначительных количествах. Это, однако, не исключает их отрицательного влияния через воду, почвы и другие звенья экосистем.

Можно считать, что тепловая энергетика оказывает отрицательное влияние практически на все элементы среды. А также на человека, другие организмы и их сообщества. В обобщенном виде эти воздействия представлены в таблице 6.1.

Вместе с тем влияние энергетики на среду и ее обитателей в большей мере зависит от вида используемых энергоносителей (топлива). Наиболее чистым топливом является природный газ, далее следует нефть (мазут), каменные угли, бурые угли, сланцы, торф.

Хотя в настоящее время значительная доля электроэнергии производится за счет относительно чистых видов топлива (газ, нефть), однако закономерной является тенденция уменьшения их доли.

Таблица 6.1

Воздействие энергетики на окружающую среду.

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту				Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека	
Добыча топлива: жидкое (нефть) и в виде газа	Углеводородное загрязнение при испарении и утечках	Повреждение или уничтожение почв при разведке и добыче топлива, передвижениях транспорта и т. п.; загрязне-	Загрязнение нефтью в результате утечек, особенно при авариях и добычах со дна водоёмов, загрязнение тех-нологическими хим-реагентами	Разрушение и повреждение экосистем в местах добычи и обу-стройств-веместорож-дений (дороги, линии электро-	Загрязнение почв - загрязнение вод нефтью и химреагентами -> гибель планктона и других групп организмов -> снижение ры-бнопродуктив-ности потеря потребитель-

		ние неф- тью, тех- нически- ми хими- катам и метало- ломами др. отхо- дами	и другими отходами; разрушение водоносных структур грунтах, откачка под- земных вод- ных водоёмы	передач, водо- проводы и т. п.), загрязнение при утечках и ва- риях, потеря продуктив- ности, ухудшение ка- чества про- дук- ции. Воз- дейст- вие на чело- века в основном че- рез биопро- дук- цию (осо- бенно гид- робионтов)	ских или вку- совых свойств воды и продуктов промысла
твердое: угли, сланцы торф и т. п.)	Пыль при взрывных и других работах, продукты горения террико- нов и т. п.	Разруше- ние почвы и грунтов при добы- че откры- тымиме- тодами (карьеры), просадки рельефа, разруше- ние грун- тов при шахтных методах	Сильное нару- шение водо- нос- ных струк- тур, откачка и сброс в во- до- емы шахт- ных, часто высо- ко- минерализи- ро-	Разрушение экосистем или их элемен- тов, особенно при открытых спо- собах добы- чи, снижение про- дуктивно- сти,	

		добычи	ванных, же- ле- зистых и че- дру- гих вод	воздействие на ибиоту и че- лове- ка через за- гряз- нённые воз- дух, воды и пи- щу. Высокая сте- пень заболе- вае- мости, трав- ма тизма и смерт- ности при шахтных способ- бах добычи	
Работа электро- станций на твердом топливе	Основные поставщи- ки углеки- слога газа, сернистого ангидри- да, оксидов азота, про- дуктов для кислых осадков, аэрозолей, сажи, за- грязнение радиоак- тивными вещества- ми, тяже- лымиме- таллами	Разруше- ние и сильное загрязне- ние почв вблизи предпри- ятий (тех- ногенные пустыни), загрязне- ние тяжё- лымиме- таллами, радиоак- тивными вещест- вами, кис- лыми осадками;	Тепловое за- грязнение в результате сбросов по- догретых вод, химиче- ское загряз- нение через кислые осадки ису- хое осажде- ние из атмо- сферы, за- гряз- нение про- дуктами вы- мывания биогенов и ядовитых ве- ществ (алю-	Основной вагентразру- шения и ги- бели экоси- стем, осо- бенно озер и хвой- ных лесов, обед- нение видово- вого состава, сниже- ние продук- тивности, раз- рушение хлорофилла, вымывание	Загрязнение воздуха про- дуктами горе- ния -> кис- лые осадки -> гибель ле- сов и экоси- стем озер -> нарушение круговоротов веществ ан- тропогенные сукцессии. Тепловое за- грязнение вод -> дефицит кислорода - >эвтрофика- ция и цвете- ние вод ->

		отчужде- ние зе- мель под землеот- валы, дру- гие отхо- ды	миний) из- почв и грунтов	биогенов, повреждение корней и т. л.). Эвтро- фикация вод- и их цвете- ние. Начело- века через загрязнение воздуха, во- ды, продуктов питания, разрушение природы, строений, памятников и т. п.	усиление де- фицита ки- слорода -> превращение водных экоси- стем в бо- лотные
Работа электро- станций на жид- ком топ- ливе и газе	То же, но в значитель- но мень- ших мас- штабах	То же, но в значи- тельно меньших масшта- бах	Тепловое за- грязнение, как для твердого топлива, ос- тальные зна- чительно меньших мас- штабах	То же, но в зна- чительно- мень- ших масша- тах	

Поэтому не исключена вероятность существенного увеличения в мировом энергобалансе использования угля. По имеющимся расчетам, запасы углей таковы, что они могут обеспечивать мировые потребности в энергии в течение 200 – 300 лет.

Возможная добыча углей, с учетом разведанных и прогнозируемых запасов, оценивается более чем в 7 триллионов тонн. При этом более 1/3 мировых запасов углей находится на территории России.

Поэтому закономерно ожидать увеличения доли углей или продуктов их переработки (например, газа) в получении энергии, а следовательно, и в загрязнении среды. Угли содержат от 0,2 до десятков

процентов серы в основном в виде пирита, сульфата, закисного железа и гипса. Имеющиеся способы улавливания серы при сжигании топлива далеко не всегда используются из-за сложности и дороговизны. Поэтому значительное количество будет поступать в окружающую среду. Серьёзные экологические проблемы связанные твердыми отходами ТЭС – золой и шлаками. Хотя зола в основной массе улавливается различными фильтрами, все же в атмосферу в виде выбросов ТЭС ежегодно поступает около 250 млн. тонн мелкодисперсных аэрозолей. Последние способны заметно изменить баланс солнечной радиации у земной поверхности. Они же являются ядрами конденсации для паров воды и формирования осадков; а, попадая в органы дыхания человека и других организмов, вызывают различные респираторные заболевания.

Выбросы ТЭС являются существенным источником такого сильного канцерогенного вещества, как бензопирен. С его действием связано увеличение онкологических заболеваний. В выбросах угольных ТЭС содержатся также оксиды кремния и алюминия. Эти абразивные материалы способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз, которым раньше болели шахтеры. Сейчас случаи заболевания силикозом регистрируются у детей, проживающих вблизи угольных ТЭС.

Серьезную проблему вблизи ТЭС представляет складирование золы и шлаков. Для этого требуются значительные территории, которые долгое время не используются, и они являются очагами накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности.

6.5.2. Экологические проблемы гидроэнергетики

Одно из важнейших воздействий гидроэнергетики связано с отчуждением значительных площадей плодородных (пойменных) земель под водохранилища. В России, где за счет использования гидро-ресурсов производится не более 20% электрической энергии, при строительстве ГЭС затоплено не менее 6 млн. га земель, На их месте уничтожены естественные экосистемы. Основные воздействия ГЭС на среду, различные звенья экосистем и человека приведены в таблице 6.2.

Значительные площади земель вблизи водохранилищ испытывают подтопление в результате повышения уровня грунтовых вод. Эти земли, как правило, переходят в категорию заболоченных.

Таблица 6.2

Влияние строительства ГЭС на элементы среды и биоту

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту				Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека	
Строительство ГЭС	Разрушение почв и грунтов на площадках, подъездных путях, хозяйственных объектах и т.п.; перемещение больших масс грунта, особенно при строительстве	Аэрозольное загрязнение продуктами разрушения почв, строительными (особенно цементом); химическое – в небольших объемах в основном от работы плотин и обвалования водохранилищ	Некоторое нарушение режима и загрязнения в местах строительства (обводные каналы и т.п.) техники, предприятий, стройматериалов	Частичное разрушение экосистем и их элементов (растительности, почв), фактор беспокойства для животных, интенсивный промысел и т.п. Влияние на человека в основном через изменение среды и социальные факторы	Текущая вода (река) -> водохранилище -> накопление химических веществ (эвтрофикация плюс тепловое загрязнение -> зарастание водоема (цветение) -> обогащение органикой -> обескислороживание превращение экосистемы транзитного типа в аккумулятивно-застойную -> порчаводы -> болезни рыб -> потеря пищевых или вкусовых свойств воды и продуктов промысла

Заполнение водохранилищ	Уход под воду плодородных пойменных земель (загопение), подъем грунтовых вод в прибрежной зоне (подтопление, заболачивание). В горных условиях такие явления выражены в меньшей степени	Дополнительное испарение с чаши водохранилищ	Смена текущих вод на застойные, неизбежное загрязнение водохранилищ бысто-растворимыми или взмучиваемыми веществами при заполнении водохранилищ и формировании берегов	Полное уничтожение сухопутных экосистем (сведение лесов или их гибель от подтопления, частое оставление всей биомассы в зоне затопления), смена прибрежных экосистем. Неизбежное переселение людей из зоны затопления, Социальные издержки	Давление водных масс на ложе водохранилищ -> интенсификация сейсмических явлений
-------------------------	---	--	--	--	--

В равнинных условиях подтопленные земли могут составлять 10% и более от затопленных. Уничтожение земель и свойственных им экосистем происходит также в результате их разрушения водой (абразии) при формировании береговой линии. Абразийные процессы обычно продолжаются десятилетиями, имеют следствием переработку больших масс почво-грунтов, загрязнение вод, заиление водохранилищ. Таким образом, со строительством водохранилищ связано резкое нарушение гидрологического режима рек, свойственных им экосистем и видового состава гидробионтов. Так, Волга практически на всем протяжении (от истоков до Волгограда) превращена в непрерывную систему водохранилищ.

Ухудшение качества воды в водохранилищах происходит по различным причинам. В них резко увеличивается количество органических веществ как за счет ушедших под воду экосистем (древесина, другие растительные остатки, гумус почв и т.п.), так и вследствие их

накопления в результате замедленного водообмена. Это своего рода отстойники и аккумуляторы веществ, поступающих с водосборов.

Таблица 6.3

Влияние работы ГЭС на элементы среды и биоту

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту			
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека
Работа ГЭС	То же, что и при затоплении, плюс многолетнее разрушение береговой линии (абразия), формирование новых типопов в прибрежной зоне	Повышение влажности, понижение температур, турбулентности, местные ветры, часто неприятный запах от органических остатков	Загрязнение в результате стоков с водосборов и разложения больших масс органики почв, растительных остатков, древесины и т. п. образование фенолов, накопление биогенов и других веществ, усиленное прогревание, особенно мелководий (тепловое загрязнение) эвтрофикация, цветение, потеря кислорода, накопление тяжёлых металлов, радиоактивных и других веществ, порча воды	Формирование новых экосистем (в основном луговых и болотных) в зоне подтопления, зарастание водоемов; цветение; нарушение миграций рыб и других гидробионтов, смена более ценных видов менее ценными; заболевания рыб (гельминты и другие паразиты), забивание жаберных щелей рыб водорослями, разрушение нерестилищ и зимовальных ям. Потеря вкусовых качеств рыб. Увеличение вероятности заболевания людей при контакте с водными массами (купание и т. п.) и продуктами промысла

В водохранилищах резко усиливается прогревание вод, что интенсифицирует потерю ими кислорода и другие процессы, обуславливаемые тепловым загрязнением. Последнее, совместно с накоплением биогенных веществ, создает условия для зарастания водоемов и ин-

тенсивного развития водорослей, в том числе и ядовитых сине-зеленых (цианей). По этим причинам, а также вследствие медленной обновляемости вод резко снижается их способность к самоочищению. Ухудшение качества воды ведет к гибели многих ее обитателей. Возрастает заболеваемость рыбного стада, особенно поражение гельминтами. Снижаются вкусовые качества обитателей водной среды. Нарушаются пути миграции рыб, идет разрушение кормовых угодий, нерестилищ и т. п. Волга во многом потеряла свое значение как нерестилище для осетровых Каспия после строительства на ней каскада ГЭС.

В конечном счете, перекрытые водохранилищами речные системы из транзитных превращаются в транзитно аккумулятивные. Кроме биогенных веществ, здесь аккумулируются тяжёлые металлы, радиоактивные элементы и многие ядохимикаты с длительным периодом жизни. Продукты аккумуляции делают проблематичным возможность использования территорий, занимаемых водохранилищами, после их ликвидации. Имеются данные, что в результате заиления равнинные водохранилища теряют свою ценность как энергетические объекты через 50 – 100 лет после их строительства. Например, подсчитано, что большая Асуанская плотина, построенная на Ниле в 60-е годы, будет наполовину заилена уже к 2025 году. Несмотря на относительную дешевизну энергии, получаемой за счет гидроресурсов, доля их в энергетическом балансе постепенно уменьшается. Это связано как с исчерпанием наиболее дешёвых ресурсов, так и с большой территориальной емкостью равнинных водохранилищ. Считается, что в перспективе мировое производство энергии на ГЭС не будет превышать 5% от общей.

6.5.3. Экологические проблемы ядерной энергетики

Ядерная энергетика до недавнего времени рассматривалась как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием на среду. К преимуществам относится такая возможность строительства АЭС, не привязываясь к месторождениям ресурсов, поскольку их транспортировка не требует существенных затрат в связи с малыми объемами. Достаточно отметить, что 0,5 кг ядерного топлива позволяет получать столько же энергии, сколько сжигание 1000 тонн каменного угля.

При нормальной работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в среду крайне незначительны. В среднем они в 2 – 4 раза меньше, чем от ТЭС одинаковой мощности.

К маю 1986 г. 400 энергоблоков, работавших в мире и дававших более 17% электроэнергии, увеличили природный фон радиоактивности не более чем на 0,02%. До Чернобыльской катастрофы в нашей стране никакая отрасль производства не имела меньшего уровня производственного травматизма, чем АЭС. За 30 лет до трагедии при авариях, и то по не радиационным причинам, погибло 17 человек. После 1986 г. главную экологическую опасность АЭС стали связывать с возможностью аварий. Хотя вероятность их на современных АЭС и невелика, но она и не исключается. К наиболее крупным авариям такого плана относится авария, случившаяся на четвертом блоке Чернобыльской АЭС.

По различным данным, суммарный выброс продуктов деления от содержащихся в реакторе составил от 3,5% (63 кг) до 28%. Для сравнения отметим, что бомба, сброшенная на Хиросиму, дала только 740 грамм радиоактивного вещества.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглась территория в радиусе более 2 тыс. км², охватившая более 20 государств. В пределах бывшего СССР пострадало 11 областей, где проживает 17 млн. человек. Общая площадь загрязненных территорий превышает 8 млн. га, или 80000 км². В России наиболее значительно пострадали Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. Пятна загрязнений имеются в Белгородской, Рязанской, Смоленской, Ленинградской и других областях.

После аварии на Чернобыльской АЭС отдельные страны приняли решение о полном запрете на строительство АЭС. В их числе Швеция, Италия, Бразилия, Мексика. Швеция, кроме того, объявила о намерении демонтировать все действующие реакторы (их 12), хотя они и давали около 45% всей электроэнергии страны. Резко замедлились темпы развития данного вида энергетики в других странах. Приняты меры по усилению защиты от аварий существующих, строящихся и планируемых к строительству АЭС. Вместе с тем человечество осознает, что без атомной энергетики на современном этапе развития не обойтись.

На территории России расположено 9 АЭС, включающих 29 реакторов. Из них 22 реактора приходится на наиболее населенную европейскую часть страны. 11 реакторов относится к типу РБМК. На Чернобыльской АЭС произошло разрушение реактора этого типа. Много реакторов (по количеству больше, чем АЭС) установлено на подводных лодках, ледоколах и даже на космических объектах.

В процессе ядерных реакций выгорает лишь 0,5 – 1,5% ядерного топлива. Ядерный реактор мощностью 1000 МВт за год работы производит около 60 тонн радиоактивных отходов. Часть их подвергается переработке, а основная масса требует захоронения. Технология захоронения довольно сложна и дорогостояща.

Отработанное топливо обычно перегружается в бассейны выдержки, где за несколько лет существенно снижается радиоактивность и тепловыделение. Захоронение обычно проводится на глубинах в 500 – 600 шурфах. Последние располагаются друг от друга на таком расстоянии, чтобы исключалась возможность протекания реакций.

Неизбежный результат работы АЭС – тепловое загрязнение. На единицу получаемой энергии здесь оно в 2 – 2,5 раза больше, чем на ТЭС, где значительно больше тепла отводится в атмосферу. Выработка 1 млн. кВт электроэнергии на ТЭС дает 1,5 км³ подогретых вод, на АЭС такой же мощности объем подогретых вод достигает 3 – 3,5 км³.

Следствием больших потерь тепла на АЭС является более низкий коэффициент их полезного действия по сравнению с ТЭС. Для ТЭС он равен 35%, а на АЭС – только 30 – 31 %.

В целом можно назвать следующие воздействия АЭС на среду:

1) разрушение экосистем и их элементов (почв, грунтов, водоносных структур и т. п.) в местах добычи руд (особенно при открытом способе);

2) изъятие земель под строительство самих АЭС. Особенно значительные территории отчуждаются под строительство сооружений для подачи, отвода и охлаждения подогретых вод. Для электростанции мощностью 1000 МВт требуется пруд-охладитель площадью около 800-900га. Пруды могут заменяться гигантскими градирнями с диаметром у основания 100-120 м и высотой, равной 40-этажному зданию;

3) изъятие значительных объемов вод из различных источников и сброс подогретых вод. Если эти воды попадают в реки и другие ис-

точники, в них наблюдается потеря кислорода, увеличивается вероятность цветения, возрастают явления теплового стресса у гидробионтов;

4) не исключено радиоактивное загрязнение атмосферы, вод и почв в процессе добычи и транспортировки сырья, а также при работе АЭС, складировании и переработке отходов, их захоронениях.

Контрольные вопросы к главе 6

1. Охарактеризуйте предмет экологии.
2. В чём заключается социальная экология?
3. Опишите глобальные экологические проблемы современности.
4. Глобальные экологические проблемы: перспективы развития и решения
5. Расскажите проблемы загрязнения атмосферы.
6. Почему важно рассмотрение проблемы обеднения озонового слоя.
7. Опишите последствия загрязнения воды человечества.
8. Опишите проблему последствия уничтожения лесных богатств Земли.
9. Какие последствия вызовут эрозия почвы и потеря плодородных земель? Что нужно делать?
10. Перечислите экологические проблемы энергетики.
11. В чём экологические проблемы тепловой энергетики и пути их решения.
12. Перечислите экологические проблемы гидроэнергетики и пути решения их.
13. Опишите экологические проблемы ядерной энергетики и пути решения их

Глава 7. КОНЦЕПЦИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

7.1. Гипотезы о происхождении жизни на Земле

Проблема происхождения жизни приобрела научный интерес для всего человечества. Она не только привлекает к себе пристальное внимание ученых разных стран и специальностей, но интересует во-

обще людей всего мира. С незапамятных времен происхождение жизни было загадкой для человечества.

Многие считают, что эта проблема недостойна изучения. Так думают, те, кто верит в божественные или сверхъестественные силы и соответственно в сотворение жизни. Но в течение последних десятилетий многие ученые интенсивно исследовали возможность самопроизвольного возникновения жизни. Так или иначе, любой из нас, будь он сторонником той или иной идеи должен иметь представление о современном состоянии этой области знаний. Вопрос этот интересен не только для богословов, философов и естествоиспытателей, но и для каждого человека. Теория происхождения жизни еще резче, чем столь популярная эволюционная теория Дарвина, ставит вопрос о том, как - или, если угодно, почему - мы появились в этом мире.

Для того чтобы достичь современной степени развития, биологическим системам понадобилось очень много времени (сотни и тысячи млн. лет). Изучаем ли мы происхождение по таким источникам как наша Земля, другие планеты или метеоритное вещество, мы непосредственно располагаем лишь кратким мгновением настоящего. При изучении вопросов происхождения жизни необходимо попытаться прочесть и воссоздать прошлое, в частности, для того чтобы найти химические и морфологические свидетельства предшествовавших образований и определить возраст горных пород. Основу теории возникновения жизни составляют химические и биологические данные. Существенный вклад вносит также философия.

Понятие «жизнь» очень трудно целиком и полностью определить. Можно последовать феноменологическому подходу и составить список свойств живого: живое существо движется, ему присущи функции выделения, питания и метаболизма, оно растет, воспроизводит себе подобных и так далее. Трудность, с которой сталкиваются при использовании этого подхода, состоит в том, что из подобного списка всегда найдутся исключения, ставящие под угрозу само определение. Такое определение – в виде произвольного списка свойств – вряд ли является фундаментальным. Например: в случае вируса, растущего кристалла, бактериальной споры оно оказывается неудовлетворительным. Для того чтобы объяснить возникновение клеточных форм жизни, был разработан целый ряд гипотетических моделей, как лабораторных, так и теоретических. Все они представляются до некоторой

степени вероятными и были в числе других, испробованы в течение 1500 млн. лет земной истории между 4500 и 3000 млн. лет назад.

7.2. Ранние представления о происхождение жизни

В течение многих веков для большинства людей проблемы возникновения живого вообще не существовало. Даже известные ученые допускали возможность постоянного зарождения живых существ из неживого. Греческий философ Аристотель, не сомневался в самозарождении лягушек, мышей, не говоря уже о более мелких животных и растениях.

В X веке голландский ученый Ян Баптист Ван-Гельмонт, известный своими количественными исследованиями питания растений, был и автором рецепта получения мышей из пшеницы и загрязненного потом белья. Английский философ Френсис Бэкон, основоположник экспериментальной науки, выступил в своем знаменитом труде «Новый органон» с резкой критикой Аристотеля и его последователей за отвлеченный характер мышления. В то же самое время он пишет о самозарождении мелких животных в гниющем субстрате.

Идея о самопроизвольном зарождении живого из неживого, не вызывала возражений и у таких выдающихся мыслителей, как В. Гарней, Р. Декарт, Г. Галилей, Ж. Б. Ламарк, Г. Гегель.

Перелом в представлениях начался лишь во второй половине 17 века, когда тосканский врач Франческо Реди в 1668 году доказал, что белые черви, развивающиеся в гниющем мясе, представляют собой личинки мух.

Сто лет спустя Лазаро Спалланцани и русский ученый Мартын Тереховский высказали сомнение по представлениям о самозарождении микроскопических организмов. Еще через сто лет, в 1862 году, французский ученый Луи Пастер окончательно опроверг догму самопроизвольного зарождения, утвердив положение, «все живое из живого».

Ученые, в какой-то мере, пытавшиеся ответить на вопрос о возникновении жизни, разделились на два лагеря. **Представители одного лагеря** развивали идею вечности жизни. Согласно этой идее жизнь на нашей планете никогда не зарождалась, а была занесена на Землю из глубин космоса, где она существует вечно. Таким образом, пробле-

ма возникновения жизни на Земле вообще снималась с повестки дня научного исследования. **Представители другого лагеря**, основываясь на некоторых экспериментальных данных, пытались создать более или менее правдоподобные представления о возникновении живого из неживого. Наибольшей популярностью пользовались гипотезы Ф. Аллена, Г. Осборна, Э. Пфлюгера. Несмотря на несомненную ценность этих гипотез, все они имели один весьма существенный недостаток – возникновение живого из минеральных элементов трактовалось как внезапный случайный процесс.

7.3. Гипотеза самозарождения

Сущность гипотезы самозарождения заключается в том, что живые предметы непрерывно и самопроизвольно возникают из неживой материи, скажем из грязи, росы или гниющего органического вещества. Она же рассматривает случаи, когда одна форма жизни трансформируется непосредственно в другую, например зерно превращается в мышь. Эта гипотеза господствовала со времен Аристотеля (384 – 322 г. до н.э.) и до середины XVII в., самозарождение растений и животных обычно принималось как реальность. В последующие два столетия высшие формы жизни были исключены из списка предполагаемых продуктов самозарождения. Он ограничился микроорганизмами.

В своей книге "Истории животных" Аристотель так описал процесс самозарождения:

Вот одно свойство, присущее как животным, так и растениям. Некоторые растения возникают из семян, а другие самозарождаются благодаря образованию некой природной основы, сходной с семенем; при этом одни из них получают питание непосредственно из земли, тогда как другие вырастают внутри других растений, что между прочим было отмечено мною в трактате по ботанике. Так же и с животными, среди которых одни в соответствии со своей природой происходят от родителей, тогда как другие образуются не от родительского корня, а возникают из гниющей земли или растительной ткани подобно некоторым насекомым; другие самозарождаются внутри животных вследствие секреции их собственных органов.

Но как бы ни самозарождались живые существа – в других ли животных, в почве, в растениях или их частях, – результатом спарива-

ния появившихся таким образом мужских и женских особей всегда является нечто дефектное, непохожее на своих родителей. Например, при спаривании вшей возникают гниды, у мух-личинки, у блох – яйцевидные по форме личинки, и такое потомство не порождает особей родительского типа или каких-либо других животных вообще, а лишь нечто неопишуемое.

На XVI в., эпоху господства религиозных суеверий, приходится расцвет классического учения о самозарождении. Его очень активно развивал в это время врач и естествоиспытатель Парацельс (1493 – 1541 гг.) и его последователь Ян Баптист Ван Гельмонт (1579 – 1644 гг.).

Классическое учение о самозарождении вместе со многими другими освященными веками фантастическими представлениями было опровергнуто в эпоху Возрождения Франческо Реди (1626 – 1697 гг.), физик-экспериментатор, известный поэт и один из первых ученых-биологов современной формации. Он был фигурой, типичной для эпохи позднего Возрождения. В книге Реди «Опыты по самозарождению насекомых» описывал поведение насекомых, он изучал также зарождение скорпионов, жаб, лягушек, пауков и перепелов. Реди не только не подтвердил самозарождение перечисленных животных, напротив, в большинстве случаев продемонстрировал, что на самом деле они рождаются из оплодотворенных яиц. Таким образом, результаты его тщательно проведенных опытов опровергли представления, сформировавшиеся в течение 20 столетий.

Тиндаль изобрел метод стерилизации растворов, содержащих споры бактерий, способные выживать в кипящей воде; этот метод до сих пор известен под названием «тиндализация». Суть его заключается в том, что стерилизуемый раствор несколько раз нагревается в течение ряда дней: не проросшие споры выдерживают нагревание, а проросшие гибнут. Таким образом, после нескольких последовательных нагреваний раствор становится стерильным. Опыты Тиндаля были настолько оригинальными, а его поддержка взглядов Пастера настолько энергичной, что он по праву разделяет с Пастером славу ниспровергателя учения о самозарождении.

7.4. Гипотеза панспермии

Не состоятельность учения о самозарождении привело некоторых известных ученых к мысли, что жизнь никогда не возникла, а, как материя или энергия, существовала вечно. Согласно этому представлению, «зародыши жизни» блуждают в космическом пространстве до тех пор, пока не попадают на подходящую по своим условиям планету там они и дают начало биологической эволюции. Эту идею поддерживали Герман ван Гельмгольц (1821 – 1894 гг.) и Уильям Томсон (позднее лорд Кельвин; 1824 – 1907 гг.) – самые знаменитые физики XIX в. Гельмгольц, лично поставивший опыты по изучению самозарождения бактерий, в лекции, прочитанной в 1871 г., говорил: «Возникла ли жизнь когда-нибудь вообще или же ее зародыши переносятся из одного мира в другой и развиваются повсюду, где есть подходящие условия?»

«Достаточно точными экспериментами, проведенными к настоящему времени, показано, что любой форме жизни всегда предшествует жизнь. Мертвая материя не способна превратиться в живую, не испытав предварительно воздействия живой материи. Мне это представляется такой же несомненной научной истиной, как закон всемирного тяготения. Я готов принять в качестве научного постулата, справедливого всегда и повсюду, утверждение, что жизнь порождается только жизнью и ничем, кроме жизни. Но как же тогда произошла жизнь на Земле?»

Далее он говорил о том, что во Вселенной должно существовать много других миров, несущих жизнь, которые время от времени разрушаются при столкновении с другими космическими телами, а их обломки с живыми растениями и животными рассеиваются в пространстве.

Следовательно, в высшей степени вероятно, что в космосе движется бесчисленное множество метеоритных камней, несущих семена жизни. Если бы в настоящее время жизни на Земле не существовало, то один такой упавший на нее камень мог бы стать так называемой естественной причиной возникновения жизни, в результате чего Земля покрылась бы растительностью... Гипотеза о том, что жизнь на Земле произошла благодаря таким обломкам более древних миров, может

показаться дикой и фантастичной; однако по этому поводу я могу лишь утверждать, что она не является ненаучной».

Эта идея была тщательно разработана в 1908 г. шведским химиком Сванте Аррениусом (1859 – 1927 гг.), который назвал свою теорию **панспермией**. Развивая идеи Гельмгольца и Кельвина, он высказал несколько собственных соображений, предположив, что бактериальные споры и вирусы могут уноситься с планеты, где они существовали, под действием электростатических сил, а затем перемещаться в космическое пространство под давлением света звезд. Находясь в космическом пространстве, спора может осесть на частицу пыли; увеличив тем самым свою массу и преодолев давление света, она может попасть в окрестности ближайшей звезды и будет захвачена одной из планет этой звезды. Таким образом, живая материя способна переноситься с планеты на планету, из одной звездной системы в другую. Как указывал Аррениус, что все живые существа во Вселенной должны быть химически родственны.

Теория панспермии опирается на **два утверждения**. **Первое** из них заключается в том, что жизнь существовала всегда, т.е. она неразрывно связана с материей. Сейчас мы можем с уверенностью сказать, что эта мысль ошибочна. Жизнь в отличие от материи и энергии не относится к числу фундаментальных свойств Вселенной; она скорее представляет собой проявление определенных комбинаций молекул, которые не могли существовать вечно, поскольку не всегда существовали даже элементы, из которых они состоят. Космологи считают, что Вселенная после взрыва через некоторое время состояла из протонов, нейтронов и электронов - фундаментальных частиц, из которых образовался атом водорода. Все элементы тяжелее водорода образовались (и образуются в звездах до сих пор) из водорода в реакциях ядерного синтеза. Эти реакции служат главным источником звездной энергии. Хотя за время существования наблюдаемой Вселенной (по оценкам 10 – 15 млрд. лет) часть водорода была израсходована, он до сих пор остается наиболее распространенным элементом. Около 90% атомов наблюдаемой Вселенной (что составляет около 60% ее массы) приходится на водород, остальная часть это в основном гелий, элемент, следующий по массе за водородом. Но поскольку кроме водорода для организации живой материи необходимы и другие элементы, жизнь не

может быть «ровесницей» Вселенной – она должна была возникнуть гораздо позднее.

Второе утверждение теории панспермии, согласно которому споры могут и должны переноситься через космическое пространство, в наши дни представляется гораздо менее правдоподобным, чем это казалось Аррениусу. Совместное воздействие ультрафиолетового и рентгеновского излучений, а также космических лучей, которым организмы неизбежно должны подвергаться в космосе, намного опаснее, а межзвездные расстояния и, следовательно, время, необходимое для перемещения, значительно больше, чем предполагал Аррениус. Но сейчас мы располагаем также эмпирическими данными, свидетельствующими о том, что споры, которые бы могли засеивать Вселенную, не способны ни покинуть Землю, ни проникать в ее окрестности. В образцах грунта, доставленных с Луны американскими астронавтами во время полетов кораблей «Аполлон», не обнаружено микроорганизмов, хотя предполагалось, что Луна может «улавливать» значительное число частиц, покидающих Землю или попадающих в ее окрестности из других областей космического пространства. Биологические анализы образцов лунного грунта не выявили никаких организмов, способных выжить в долгих космических путешествиях, и до сих пор все подобные исследования дают лишь отрицательные результаты. За время существования Солнечной системы (около 4,5 млрд. лет) споры, если они существуют, должны были попасть и на Марс.

Несмотря на факты, свидетельствующие против теории панспермии, она продолжает жить. В последние годы известный американский астрофизик и писатель-фантаст Фред Хойл вместе со своим сотрудником Чандром Викрамасингхом пришли к невероятному заключению, что не менее 80% частиц межзвездной пыли состоят из клеток бактерий и морских водорослей. Их предположение основано на изучении оптических свойств частиц межзвездной пыли. Согласно оценкам, ее масса в нашей Галактике примерно в 5 млн. раз превосходит массу Солнца. С этой точки зрения Земля почти безжизненна по сравнению с межзвездным пространством.

Вслед за Аррениусом Хойл и Викрамасингх **называют эти клетки межпланетными «прыгунами»**. Но если такие «прыгуны» дей-

ствительно существовали, то они, наверное, давно бы добрались и до Луны, и до Марса.

Гипотеза направленной панспермии входит составной частью в развернувшуюся ныне широкую дискуссию о возможности существования в нашей Галактике внеземных цивилизаций. На теоретические исследования этого вопроса, как и на реальные поиски радиосигналов от иных цивилизаций, направлены все возрастающие усилия многих исследователей. Но хотя в этой проблеме остается еще много неясного, в последние годы наблюдается заметный отход от упрощенного представления, бытовавшего на заре космической эры, согласно которому Галактика просто «кишит» технологически развитыми обществами, которые существуют на планетах земного типа в иных звездных мирах. Как теоретические доводы, так и результаты последних исследований Солнечной системы показали, что пригодные для жизни планеты, видимо, достаточно редки. Другие соображения приводят к выводу, что любая цивилизация, обретя способность к межзвездным полетам, должна быстро (в масштабе геологического времени) распространяться по всей Галактике.

7.5. Гипотеза Опарина–Юри

Общий подход к химической эволюции первым сформулировал советский биохимик А.И. Опарин (1894 – 1980 гг.). В 1924 г. в СССР была опубликована его небольшая книга, посвященная этому вопросу; в 1936 г. вышло в свет ее новое, дополненное издание (в 1938 г. она была переведена на английский язык). Опарин обратил внимание на то, что современные условия на поверхности Земли препятствуют синтезу большого количества органических соединений, поскольку свободный кислород, имеющийся в избытке в атмосфере, окисляет углеродные соединения до диоксида углерода (углекислого газа, CO₂). Кроме того, он отмечал, что в наше время любое органическое вещество, «брошенное на произвол» на земле, используется живыми организмами (подобную мысль высказывал еще Чарльз Дарвин). Однако, Опарин утверждал, что на первичной Земле господствовали иные условия. Можно полагать, что в земной атмосфере того времени отсутствовал кислород, но в изобилии имелись водород и газы, содержащие водород, такие, как метан (CH₄) и аммиак (NH₃). **Подоб-**

ную атмосферу, богатую водородом и бедную кислородом, называют восстановительной в отличие от современной, окислительной, атмосферы, богатой кислородом и бедной водородом. По мнению Опарина, такие условия создавали прекрасные возможности для самопроизвольного синтеза органических соединений.

Обосновывая свою идею о восстановительном характере примитивной атмосферы Земли, Опарин выдвигал следующие аргументы.

1. Водород в изобилии присутствует в звездах.
2. Углерод обнаруживается в спектрах комет и холодных звезд в составе радикалов CH и CN , а окисленный углерод проявляется редко.
3. Углеводороды, т.е. соединения углерода и водорода, встречаются в метеоритах.

4. Атмосферы Юпитера и Сатурна чрезвычайно богаты метаном и аммиаком. Как указывал Опарин, эти четыре пункта свидетельствуют о том, что Вселенная в целом находится в восстановительном состоянии. Следовательно, на первобытной Земле углерод и азот должны были находиться в таком же состоянии.

5. В вулканических газах содержится аммиак. Это говорит о том, что азот присутствовал в первичной атмосфере в виде аммиака.

6. Кислород, содержащийся в современной атмосфере, вырабатывается зелеными растениями в процессе фотосинтеза, и, следовательно, по своему происхождению это биологический продукт.

На основании этих рассуждений Опарин пришел к заключению, что углерод на примитивной Земле впервые появился в виде углеводородов, а азот в виде аммиака. Далее он высказал предположение, что в ходе известных ныне химических реакций на поверхности безжизненной Земли возникали сложные органические соединения, которые по прошествии довольно продолжительного периода времени, по видимому, и дали начало первым живым существам. Первые организмы, вероятно, представляли собой очень простые системы, способные лишь к **репликации (делению)** за счет органической среды, из которой они образовались. Выражаясь современным языком, они **были «гетеротрофами»**, т. е. зависели от окружающей среды, которая снабжала их органическим питанием. На противоположном конце этой шкалы находятся **«автотрофы»**, например, такие организмы, как зеленые растения, которые сами синтезируют все необходимые органические вещества из диоксида углерода, неорганического азота и во-

ды. Согласно теории Опарина, автотрофы появились только после того, как гетеротрофы истощили запас органических соединений в примитивном океане.

В 1952 г. Гарольд Юри (1893 – 1981 гг.), занимаясь не собственно проблемами происхождения жизни, а эволюцией Солнечной системы, самостоятельно пришел к выводу, что атмосфера молодой Земли имела **восстановленный характер**. Подход Опарина был качественным. Проблема, которую исследовал Юри, была по своему характеру физико-химической. Используя в качестве отправной точки данные о составе первичного облака космической пыли и граничные условия, определяемые известными физическими и химическими свойствами Луны и планет, он поставил цель разработать термодинамическую теорию возникновения Солнечной системы в целом. Юри показал, что к завершению процесса формирования Земля имела сильно восстановленную атмосферу, так как ее основными составляющими были водород, метан, аммиак и пары воды. Гравитационное поле Земли не могло удержать легкий водород и он постепенно улетучился в космическое пространство. **Вторичным** следствием потери свободного водорода было постепенное окисление метана до диоксида углерода, а аммиака – до газообразного азота, которые через определенное время превратили атмосферу из восстановительной в окислительную. Юри предполагал, что именно в период улетучивания водорода, когда атмосфера находилась в промежуточном окислительно-восстановительном состоянии, на Земле могло образоваться в больших количествах сложное органическое вещество. По его оценкам, океан, по-видимому, представлял тогда собой однопроцентный раствор органических соединений. В результате возникла жизнь в ее самой примитивной форме.

Предположения Юри о восстановительном характере первобытной атмосферы основывались на высоком содержании на Земле железа (35% общей массы). Он считал, что железо, из которого ныне состоит ядро Земли, первоначально было распределено более или менее равномерно по всему ее объему. При разогреве Земли железо расплавилось и собралось в ее центре. Однако, прежде чем это произошло, железо, содержащееся в том слое планеты, который сейчас называется верхней мантией Земли,

взаимодействовало с водой (она присутствовала на примитивной Земле в виде гидратированных минералов, похожих на те, что обнаружены в некоторых метеоритах); в результате в первобытную атмосферу выделились огромные количества водорода.

Попытки восстановить события, происходившие на заре формирования Солнечной системы, неизбежно связаны с множеством неопределенностей. Промежутки времени между возникновением Земли и образованием древнейших пород, поддающихся геологической датировке, в течение которого протекали химические реакции, приведшие к появлению жизни, составляет 700 млн. лет. Лабораторные опыты показали, что для синтеза компонентов генетической системы необходима среда восстановительного характера; поэтому можно сказать, что раз жизнь на Земле возникла, то это может означать следующее: либо примитивная атмосфера имела восстановительный характер, либо органические соединения, необходимые для зарождения жизни, откуда-то принесены на Землю. Поскольку даже сегодня метеориты приносят на Землю разнообразные органические вещества, последняя возможность не выглядит абсолютно фантастической. Однако метеориты, по-видимому, содержат далеко не все вещества, необходимые для построения генетической системы.

7.6. Земля в период зарождения жизни

4 млрд. лет назад атмосфера Земли не содержала свободного кислорода. Он находился только в составе оксидов. Ни растений, ни животных, ни бактерий не было. Как считает известный специалист в области проблемы возникновения жизни Стэнли Миллер, о возникновении жизни и начале ее эволюции можно говорить с того момента, как органические молекулы самоорганизовывались в структуры, которые смогли воспроизводить самих себя. Занесенные из космоса осколки метеоритов, выбросы из гидротермальных источников и химические реакции, происходящие при электрических разрядах в атмосфере, были источниками аммиака и таких органических соединений, как формальдегид и цианид. Попадая в воду Мирового океана, они замерзали вместе с ней. В ледяной толще молекулы органических веществ тесно сближались и вступали во взаимодействия, которые приводили к образованию глицина и других аминокислот. Океан был покрыт

льдом, который защищал вновь образовавшиеся соединения от разрушения под действием ультрафиолетового излучения. Этот ледяной мир мог растаять, например, при падении на планету огромного метеорита (рис. 7.1).

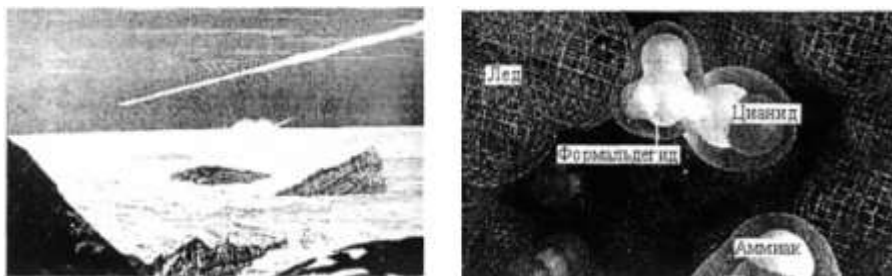


Рис. 7.1

Океан был покрыт льдом, который служил защитой от сильного ультрафиолетового излучения. В ледяной толще молекулы органических соединений могли тесно сблизиться и взаимодействовать друг с другом с образованием новых, более сложных соединений.

Чарльз Дарвин и его современники полагали, что жизнь могла возникнуть в водоеме. Этой точки зрения многие ученые придерживаются и в настоящее время. В замкнутом и сравнительно небольшом водоеме органические вещества, приносимые впадающими в него водами, могли накапливаться в необходимых количествах. Затем эти соединения еще больше концентрировались на внутренних поверхностях слоистых минералов, которые могли быть катализаторами реакции.

Например, две молекулы фосфатальдегида, встретившиеся на поверхности минерала, реагировали между собой с образованием фосфорилизованной углеводной молекулы – возможного предшественника рибонуклеиновой кислоты (рис. 7.2).

Впервые органические молекулы – аминокислоты в лабораторных условиях получил американский ученый Стэнли Миллер в 1952 г. Установка представляла собой систему колб. В одной из колб находился мощный электрический разрядник, создающий напряжение в 100 000 В. В эту колбу Миллер заполнил природные газы; метан, во-

дород и аммиак, которые присутствовали в атмосфере первобытной Земли.

Вода, а вместе с ней различные химические соединения, поступающие из ледников, вулканов, гейзеров и осколков метеоритов, скапливаются в неглубоких водоемах.

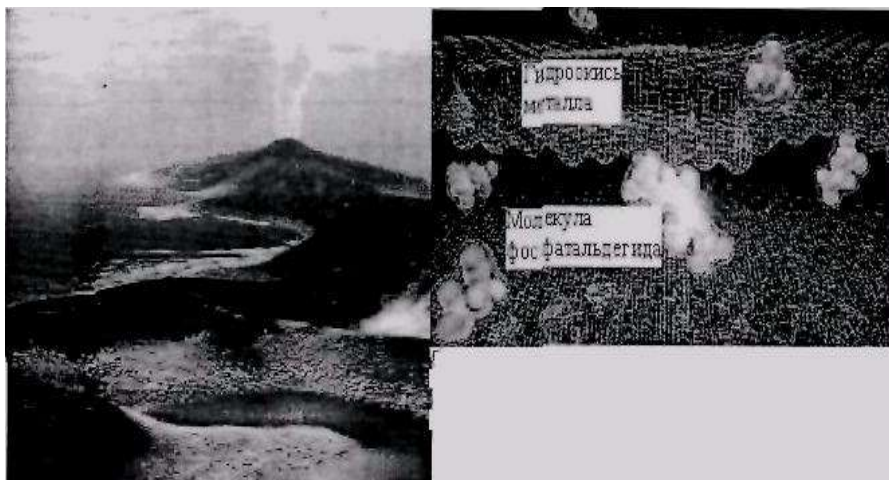


Рис. 7.2

На дне колбы находилось небольшое количество воды, имитирующей океан. Мощность электрического разряда сравнима с мощностью молнии, возникающей в атмосфере Земли. Миллер ожидал, что под действием электрического разряда образуются химические соединения, которые, попав в воду, прореагируют друг с другом и образуют более сложные молекулы. Однако Миллер обнаружил, что вода в колбе приобрела желтоватую окраску. То, что образовалось на дне колбы, оказалась суспензия из аминокислот – строительных блоков белков. Таким образом, эксперимент показал, что могут образоваться первичные ингредиенты живого.

В настоящее время существует несколько научных определений жизни. Одно из них жизнь определяет как **самоподдерживающуюся** химическую систему, способную вести себя в соответствии с законами дарвиновской эволюции. Это значит, что, **во-первых**, группа жи-

вых особей должна производить подобных себе потомков, которые наследуют признаки родителей. **Во-вторых**, в поколениях потомков должны проявляться последствия мутаций т.е. генетических изменений, которые наследуются последующими поколениями и обуславливают популяционную изменчивость. **В-третьих**, необходима система естественного отбора, в результате которого одни особи получают преимущество перед другими и выживают в изменившихся условиях, давая потомство. Какие же элементы системы необходимы, чтобы у нее появились характеристики живого организма? Большинство биохимиков и молекулярных биологов считают, что необходимыми условиями образования живого организма являются возникновение молекул РНК. **РНК – рибонуклеиновые кислоты** – это особенные молекулы. **Одни из них** могут реплицироваться, мутировать, передавая информацию, и которые могут участвовать в естественном отборе. Однако они не способны сами катализировать процесс репликации. **Другие молекулы РНК** задействованы в «считывании» генетической информации и передаче ее на рибосомы, где происходит синтез белковых молекул. В синтезе принимают участие молекулы РНК третьего типа. Таким образом, самая примитивная живая система могла быть представлена молекулами РНК, удваивающимися, подвергающимися мутациям и подверженными естественному отбору.

Другой тип молекул, играющих решающую роль в живой материи, – нуклеиновые кислоты. По химическому составу различают два типа таких кислот: дезоксирибонуклеиновую (ДНК) и рибонуклеиновую (РНК). ДНК находится главным образом в клеточном ядре, а РНК – и в ядре, и в цитоплазме. Обе они в свою очередь состоят из химических соединений трех типов: азотистых оснований, сахаров и фосфорной кислоты. Эти соединения приведены в таблице 7.1.

Структурные формулы оснований приведены на рис.7.3 Все три компонента, связанные в одно целое, **называются нуклеотидом**. Ради упрощения мы будем обозначать нуклеотиды так же, как их основания. Одним из фундаментальных успехов в области исследования молекулярного строения живой материи было открытие (1953) вторичной структуры молекулы ДНК. Она представляет собой двойную спираль и известна как модель Уотсона – Крика. Эта модель нашла многократное подтверждение, и она является основой молекулярной биофизики.

На рисунке 7.4 схематически представлена и химическая структура молекулы. Для наших дальнейших рассуждений важно, что две ее цепи **комплементарны** (т. е. взаимно дополняют друг друга) в том смысле, что **тимину (Т)** всегда соответствует в другой **цепи аденин (А), а цитозину (Ц)– гуанин (Г)**. Взаимно соответствующие основания всегда лежат напротив друг друга и связаны водородными мостиками: **пара Ц – Г двумя, а пара А– Т тремя**. Эти мостики служат единственными связями между обеими цепями и стабилизируют всю молекулу.

Таблица 7.1

Химические соединения нуклеиновых кислот

Нуклеиновые кислоты		ДНК	РНК
Основания	Пуриновые	Аденин А Гуанин Г	
	Пиримидиновые	Цитозин Ц Тимин Т	Урацил У
Сахара (пентозы)		Дезоксирибоза ДР	Рибоза Р
Кислота		Фосфорная Ф	

Клетки – элементарные частички жизни, самые мелкие составные компоненты организма, определяющие его живое состояние. **Клетки** различаются по размеру, форме, функциональному назначению. Однако у большинства клеток имеет много общего характера. Схематически клетка показана на рис. 7.6.

Что же касается молекулы РНК, то модель Уотсона – Крика для нее не подходит, так как РНК состоит из одной цепи. По-видимому, молекула РНК должна иметь форму спиралевидного волокна, которое иногда переворачивается, образуя боковые петли. Такие молекулы, как правило, связываются с молекулами белков в более сложные структуры.

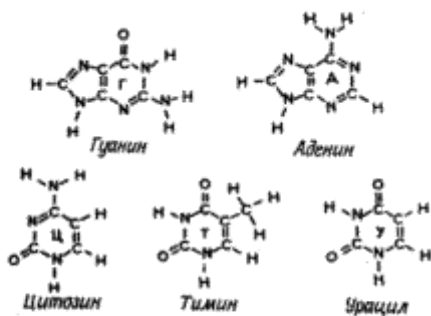
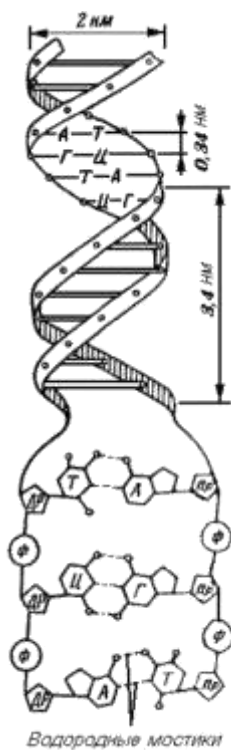
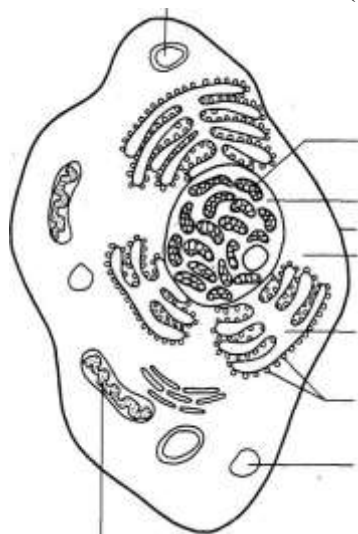


Рис.7.3. Структурные формулы новых аминокислот

7.4. Различные изображения двойной спирали молекулы ДНК (модель Уотсона–Крика)

Лизосомы (несут пищеварительные ферменты)



Хромосомы (содержат ДНК)

Ядро

Мембрана

Цитоплазма

Эндоплазматическая
сеть каналов

Рибосомы (синтезируют белок)

Вакуоли (полости с
питательными и други-
ми растворами)

Митохондрий (обеспечивает энергией)

Рис. 7.5 Строение клетки

В ходе эволюции на основе РНК возникли специализированные молекулы ДНК-хранители генетической информации – и не менее специализированные молекулы белка, взявшие на себе функции катализаторов синтеза всех известных в настоящее время биологических молекул. В некоторый момент времени «живая система» из ДНК, РНК и белка нашла приют внутри мешочка, образованного липидной мембраной. Эта защищенная от внешних воздействий структура послужила прототипом самых первых клеток, давших начала трем основным ветвям жизни, которые представлены в современном мире бактериями, археями и эукариотами. Что касается даты и последовательности появления таких первичных клеток, то это остается загадкой. По вероятностным оценкам для эволюционного перехода от органических молекул к первым организмам считают, что первые простейшие орга-

низмы появились внезапно. В течение многих лет ученые полагали, что жизнь на Земле возникла 3,8 млрд. лет назад после постоянного столкновения с метеоритами и кометами. Однако в найденных осадочных породах юго-восточной части Греландии были обнаружены следы сложных клеточных структур, возраст которых составляет 3,86 млрд. лет. Это означает, что первые формы жизни могли возникнуть за миллионы лет до того, как прекратилась бомбардировка нашей планеты крупными космическими телами. С другой стороны возможен и совсем другой сценарий.

Органическое вещество попадало на Землю из космоса вместе с метеоритами и другими внеземными объектами, бомбардировавшими планету в течение сотен миллионов лет с момента ее образования. Ныне столкновение с метеоритом – событие довольно редкое, но и сейчас из космоса вместе с межпланетным материалом на Землю продолжают поступать точно такие же соединения, как и на заре эры.

Падавшие на Землю космические объекты могли сыграть центральную роль в возникновении жизни на нашей планете. По мнению ряда исследователей клетки, подобные бактериям, могли возникнуть на другой планете и затем уже попасть на Землю вместе с астероидами. Одно из свидетельств в пользу теории внеземного происхождения жизни было доказано обнаруженной внутри метеорита структурой, по форме напоминающей картофелину и названной ALHB4001. Предполагается, что первоначально этот метеорит был частичкой марсианской коры, которая затем была выброшена в космос в результате взрыва при столкновении огромного астероида с поверхностью Марса, происшедшего около 16 млн. лет назад. А 13 тыс. лет назад после длительного путешествия в пределах Солнечной системы этот осколок марсианской породы, в виде метеорита приземлился в Антарктике, где и был недавно обнаружен. При детальном исследовании внутри метеорита были обнаружены палочковидные структуры, напоминающие по форме окаменелые бактерии, что дало повод для бурных научных споров о возможности жизни в глубине марсианской коры. Разрешить эти споры удастся после полета на Марс межпланетного корабля для отбора проб марсианской коры и доставки образцов на Землю.

7.7. Возникновение жизни в глубинах гидротермальных систем

В настоящее время большинство ученых придерживается традиционных представлений о зарождении жизни в древнем теплом океане. Однако ряд открытий сделанных в последние десятилетия указывает наивную точку зрения. К. Везе, обобщая данные по эволюции микроорганизмов, расположил данную группу в **основании бактериального филогенетического** дерева. Таким образом, все прокариоты разделились на две группы - **архебактерий и зубактерий**. В ходе дальнейших исследований выяснилось, что архебактерий и зубактерий являются параллельными ветвями, развившимися из общей гипотетической предковой формы – **Прогенота**. Реконструирование главных характеристик Прогенота, проведенное К. Везе, привело к вполне определенному выводу: наш общий предок существовал при температуре кипения воды, т.е. был **гипертермофилом**. Однако кроме проблемы температуры среды, в которой зародилась жизнь, существует и другая, более важная проблема: задача понимания существа и причинности процессов, приводящих к возникновению простейших форм жизни.

Путь к решению данной задачи пролегает через комплекс идей и концепций, рассматривающих **явления самоорганизации природных систем**. В основании этого направления лежит сформулированная в рамках термодинамики неравновесных процессов (ТНП) теория диссипативных структур. К классу диссипативных структур относятся все без исключения биологические и социальные системы, а также некоторые химические и физические системы, в которых существуют незатухающие динамические явления. Фактически в рамках теории диссипативных структур сформулирован целый ряд универсальных законов появления, развития и отмирания природных систем, которые справедливы в частности и для широкого класса биологических систем. Более подробно описано в главе 4.

Кратким итогом сказанного выше являются три основных требования к среде, в которой зародилась жизнь:

1. **Среда должна быть высокотемпературной;**
2. **В ней должны были происходить сильные колебания термодинамических и физико-химических параметров.**
3. **Среда должна быть жидкой.**

Рассмотрим на основе этих критериев возможные среды, в которых могла возникнуть жизнь.

На планете Земля известны две жидкие глобальные геологические системы – гидросфера, объединяющая приповерхностные воды, главная масса которых сконцентрирована в океане и гидротермальные системы, представляющие обычно высокотемпературные глубинные потоки растворов, составленные из ювенильных и вадозных вод. Общее сопоставление химического состава планетарного океана и усредненного состава гидротермальных источников показывает наличие большого сходства. Эта особенность является естественной, поскольку океан формировался за счет мощных гидротермальных излияний в ходе геологического развития Земли.

Переходя ко второму критерию среды возникновения жизни – ее высокотемпературности – следует сделать выбор из этих двух сред в пользу гидротермальных систем. Хотя следует отметить, что критерий высокотемпературности не позволяет сделать окончательный выбор между океаном и гидротермальными системами, так как в случае горячей Земли первичный океан должен быть достаточно горячим.

Третье требование к среде – сильная неравновесность – является ключевым. Требования сильной неравновесности среды, необходимой для спонтанного возникновения явлений самоорганизации, означает наличие в среде сильных флуктуаций. Амплитуда флуктуаций должна быть велика для преодоления критического рубежа, за которым начинаются процессы самоорганизации. При небольших колебаниях параметров относительно средних равновесных значений никакой самоорганизации не происходит, последняя возникает только вдали от состояния равновесия. Оценивая с этих позиций степень возможных флуктуаций в океане можно сказать, пользуясь терминологией ТНП, что океан находится в состоянии аттракции, или относительно (подвижного) равновесия, которое характеризуется небольшими колебаниями параметров вокруг равновесных значений.

Принципиально иными в рассматриваемом аспекте **являются гидротермальные системы.** Кардинальное отличие гидротермальных систем от океана заключается в том, что они обладают собственной мощной энергетикой. Вследствие избытка свободной энергии в системе периодически происходит накопление напряжений, выражающееся

в возрастании интенсивных параметров (температуры и давления). Так же периодически накопленные напряжения разряжаются, приводя к увеличению экстенсивных параметров – объема преобразованного растворами минерального вещества. Такая внутренняя активность гидротермальных систем и вызывает постоянные и различные по амплитуде флуктуации, поддерживающие состояние неравновесности.

Таким образом, наиболее вероятной средой для возникновения жизни являются глубокие области гидротермальных систем (от глубин в несколько километров до поверхности). Эта область характеризуется:

- 1. наличием высокотемпературной жидкой, водяной среды;**
- 2. существованием в ней мощных динамических возмущений, и флуктуации термодинамических и физико-химических параметров;**
- 3. присутствием разнообразного растворенного и дисперсного органического вещества.**

Эту зону можно рассматривать как своеобразный природный инкубатор, в котором зародились первичные эмбриональные формы протожизни.

7.8. Критерии обитаемости планет

Проблема жизни в космосе – одна из наиболее увлекательных и популярных проблем в науке о Вселенной, которая с давних пор волнует не только ученых, но и всех людей. Еще Дж. Бруно и М. Ломоносов высказывали предположение о множественности обитаемых миров. Изучение жизни во Вселенной – одна из сложнейших задач, с которой когда-либо встречалось человечество.

Все данные о жизни вне Земли, носят чисто гипотетический характер. Поэтому глубоким исследованиям биологических закономерностей и космических явлений занимается научная дисциплина – «экзобиология».

Так исследования вземных, космических форм жизни помогло бы человеку, во-первых, понять сущность жизни, т.е. то, что отличает все живые организмы от неорганической природы, во-вторых, выяснить пути возникновения и развития жизни и, в-третьих, определить место и роль человека во Вселенной. Сейчас можно считать достаточ-

но твердо установленным, что на нашей собственной планете жизнь возникла в отдаленном прошлом из неживой, неорганической материи при определенных внешних условиях. В настоящее время ученые предполагают, что в нашей Галактике «Млечный путь» имеются около 900 обитаемых экзопланет, открытых за последние десятки лет. Предположение основано тем, эти планеты покрыты льдом.

7.8.1. Влияние температуры и давления

Если предположить, что жизнь должна быть основана на химии углерода, то можно установить предельные условия любой среды, способной поддерживать жизнь. Прежде всего температура не должна превышать предел стабильности органических молекул. Определить предельную температуру нелегко. Поскольку температурные эффекты и величина давления взаимосвязаны, то их следует рассматривать в совокупности. Приняв давление равным примерно 1 атм (как на поверхности Земли), можно оценить верхний температурный предел жизни, например аминокислоты. Она быстро разрушаются при температурах 200 – 300°C. Исходя из этого, можно заключить, что среда с температурой выше 250°C необитаема. (Из этого, однако, не следует, что жизнь определяется только аминокислотами; мы выбрали их лишь в качестве типичных представителей малых органических молекул.). Следовательно реальный температурный предел жизни должен быть ниже вышеуказанного температурного интервала. Для жизни на поверхности Земли верхний температурный предел близок к 100°C. Однако некоторые виды бактерий при этих условиях могут выживать в горячих источниках, хотя подавляющее большинство организмов при такой температуре гибнет.

Томас Д. Брок, специалист по термофильным бактериям, высказал предположение, что жизнь может быть обнаружена везде, где существует жидкая вода, независимо от ее температуры. Естественные условия, в которых жидкая вода существует при температуре выше ее обычной точки кипения, обнаружены в районах подводной геотермальной активности, где перегретая вода изливается из земных недр под совместным действием атмосферного давления и давления слоя океанской воды. В 1982 г. К. О. Стеттер обнаружил на глубине до 10 км в зоне геотермальной активности бактерии, для которых оптималь-

ная температура развития составляла 105°C. Так как давление под водой на глубине 10 м равняется 1 атм, то общее давление на глубине 10 км равно 20 атм. Температура кипения воды при этом равна 121°C. Следовательно, жизнь возможна и при температурах выше точки кипения воды.

Очевидно, бактерии, способные существовать при температурах около 100°C, обладают «секретом», которым лишены обычные организмы. Поскольку эти термофильные формы при низких температурах растут плохо либо вообще не растут, то справедливо считать, что и у обычных бактерий есть собственный «секрет». Ключевым свойством, определяющим возможность выживания при высоких температурах, является способность производить термостабильные клеточные компоненты, особенно белки, нуклеиновые кислоты и клеточные мембраны. У белков обычных организмов при температурах около 60°C происходят быстрые и необратимые изменения структур, или денатурация. В качестве примера можно привести свертывание при варке альбумина куриного яйца (яичного «белка»). Белки бактерий, обитающих в горячих источниках, не испытывают таких изменений до температуры 90°C. Нуклеиновые кислоты также подвержены тепловой денатурации. Молекула ДНК при этом разделяется на две составляющие ее нити. Обычно это происходит в интервале температур 85 – 100°C в зависимости от соотношения нуклеотидов в молекуле ДНК.

При денатурации разрушается трехмерная структура белков (уникальная для каждого белка), которая необходима для выполнения таких его функций, как катализ. Эта структура поддерживается целым набором слабых химических связей, в результате действия которых линейная последовательность аминокислот, формирующая первичную структуру белковой молекулы, укладывается в особую, характерную для данного белка конформацию. Поддерживающие трехмерную структуру связи образуются между аминокислотами, расположенными в различных частях белковой молекулы. Мутации гена, в котором заложена информация о последовательности аминокислот, могут привести к изменению в составе аминокислот, что в свою очередь часто сказывается на его термостабильности. Это явление открывает возможности для эволюции термостабильных белков. Структура молекул, обеспечивающая термостабильность нуклеиновых кислот и кле-

точных мембран бактерий, обитающих в горячих источниках, по-видимому, также генетически обусловлена.

Поскольку повышение давления препятствует кипению воды при нормальной точке кипения, оно может предотвратить и некоторые повреждения биологических молекул, связанные с воздействиями высокой температуры. Например, давление в несколько сотен атмосфер подавляет тепловую денатурацию белков. Это объясняется тем, что денатурация вызывает раскручивание спиральной структуры белковой молекулы, сопровождающееся увеличением объема. Препятствуя увеличению объема, давление предотвращает денатурацию. При гораздо более высоких величинах давления, 500 атм и более, оно само становится причиной денатурации. Механизм этого явления, которое предполагает компрессионное разрушение белковой молекулы, пока не ясен. Воздействие очень высокого давления приводит также к повышению термостабильности малых молекул, поскольку высокое давление препятствует увеличению объема, обусловленному в этом случае разрывами химических связей. Например, при атмосферном давлении мочевины быстро разрушается при температуре 130°C, но стабильна, по крайней мере в течение часа, при 200°C и давлении 29 тыс. атм. Молекулы, находящиеся в растворе, ведут себя совершенно иначе. Взаимодействуя с растворителем, они часто распадаются при высокой температуре. Общее название таких реакций – сольватация; если растворителем служит вода, то реакция называется гидролизом.

Гидролиз – это основной процесс, вследствие которого в природе разрушаются белки, нуклеиновые кислоты и многие другие сложные биологические молекулы. Гидролиз происходит, например, в процессе пищеварения у животных, но он осуществляется вне живых систем, самопроизвольно, особенно при высоких температурах. Электрические поля, возникающие при сольволитических реакциях, приводят к уменьшению объема раствора путем электрострикции, т.е. связывания соседних молекул растворителя. Поэтому следует ожидать, что высокое давление должно ускорять процесс сольволиза, и опыты подтверждают это.

Поскольку мы полагаем, что жизненно важные процессы могут протекать только в растворах, отсюда следует, что высокое давление не может поднять верхний температурный предел жизни, по крайней мере в таких полярных растворителях, как вода и аммиак. Температу-

ра около 100°C-вероятно, закономерный предел. Это исключает из рассмотрения в качестве возможных мест обитания многие планеты Солнечной системы.

7.8.2. Влияние атмосферы

Следующее условие, необходимое для обитаемости планеты – наличие атмосферы. Достаточно простые соединения легких элементов, которые составляют основы живой материи, являются летучими, т.е. в широком интервале температур находятся в газообразном состоянии. Такие соединения вырабатываются в процессе обмена веществ у живых организмов, а так же при тепловых и фотохимических воздействиях на мертвые организмы, которые сопровождаются выделением газов в атмосферу. Этими газами являются диоксид углерода (углекислый газ), пары воды и кислород, включающиеся в кругооборот веществ в живой природе.

Есть предположение, что жизнь может существовать под поверхностью небесных тел, например Луны. Подобное предположение строится на том, что газы могут быть захвачены подповерхностным слоем, который и становится естественной средой обитания живых организмов. Но поскольку любая среда обитания, возникающая под поверхностью планеты, лишена основного биологически важного источника энергии Солнца, то такое предположение неразрешимо. Жизнь нуждается в постоянном притоке как вещества, так и энергии. Если вещество участвует в кругообороте (этим обусловлена необходимость атмосферы), то энергия также изменяется. Биосфера способна функционировать, покуда снабжается энергией. Например, Солнечная система очень богата тепловой энергией. Тепло вырабатывается также в недрах многих планет, включая Землю. Однако мы не знаем способностей организмов, которые способны использовать источник энергии для своих жизненных процессов. Чтобы использовать теплоту в качестве источника энергии, организм должен функционировать подобно тепловой машине, т.е. переносить теплоту из области высокой температуры (например, от цилиндра бензинового двигателя) в область низкой температуры (к радиатору). При таком процессе часть перенесенной теплоты переходит в работу. Но чтобы к. п. д. таких тепловых машин был достаточно высоким, требуется высокая темпе-

ратура «нагревателя», а это немедленно создает огромные трудности для живых систем, так как порождает множество дополнительных проблем.

Солнце – постоянный, неисчерпаемый источник энергии, которая используется в фотохимических процессах при любой температуре. Жизнь на нашей планете целиком зависит от солнечной энергии, поэтому можно предположить, что в другом месте Солнечной системы жизнь не может развиваться без прямого или косвенного потребления Солнечной энергии. Однако существуют некоторые бактерии, которые способны жить в темноте, используя для питания только неорганические вещества. **Такие организмы, называемые хемолитоавтотрофами** (что в буквальном переводе значит: питающие себя неорганическими химическими веществами), получают энергию, необходимую для превращения диоксида углерода в органические вещества за счет окисления водорода, серы или других неорганических веществ. Но эти источники энергии в отличие от Солнца истощаются и после использования не могут восстанавливаться без участия солнечной энергии. Так, водород, как важный источник энергии для некоторых хемолитоавтотрофов, образуется в анаэробных условиях (например, в болотах, на дне озер или в желудочно-кишечном тракте животных) путем разложения под действием бактерий растительного материала. Хемолитоавтотрофы используют водород для получения из диоксида углерода метана и веществ, необходимых для жизнедеятельности клеток. Метан поступает в атмосферу, где разлагается под действием солнечного света с образованием водорода и других продуктов. В атмосфере Земли водород содержится в концентрации 0,5 на миллион частей. Водород и метан выбрасываются в атмосферу также при извержениях вулканов, но в несравненно меньшем количестве. Другим источником атмосферного водорода являются верхние слои атмосферы, где под действием солнечного УФ излучения пары воды разлагаются с высвобождением атомов водорода.

Многочисленным популяциям различных животных-рыб, морских моллюсков, мидий, гигантских червей и т.д., которые обитают вблизи горячих источников на глубине 2500 м в Тихом океане, могут существовать независимо от солнечной энергии. Известно несколько таких зон: одна рядом с Галапагосским архипелагом, другая на расстоянии примерно 21° к северо-западу, у берегов Мексики. В глубине

океана запасы пищи заведомо скудны и возникает вопрос об источнике их питания. **Одна возможность** заключается в использовании органического вещества, скапливающегося на дне океана, отходов, образовавшихся в результате биологической активности в поверхностном слое. Они переносятся в район геотермальной активности горизонтальными течениями, возникающими вследствие вертикальных выбросов горячей воды. Движение вверх перегретой воды и вызывает образование придонных горизонтальных холодных течений, направленных к месту выброса. Предполагается, что таким путем здесь и скапливаются органические останки. **Другим источником** питательных веществ является сероводород (H_2S), содержащий в воде термальных источников. Исследования показали, что хемолитоавтотрофы являются главным источником органического вещества в экосистеме термальных источников.

Контрольные вопросы к главе 7

1. Объясните гипотезы о происхождении жизни на Земле.
2. Какие доказательства показывают о раннем происхождении жизни на Земле?
3. В чём смысл гипотезы самозарождения? Приведите примеры.
4. О чём говорит гипотеза панспермии?
5. Расскажите о гипотезе Опарина–Юри и в чём её отличие от других гипотез?
6. Опишите эволюцию Земли в период зарождения жизни.
7. Расскажите о возникновении жизни в глубинах гидротермальных систем.
8. Опишите критерии обитаемости планет.
9. Опишите влияние температуры и давления на зарождение жизни.
10. Приведите примеры влияния атмосферы на жизнь.

Заключение

В качестве основных выводов из содержания курса «Естественно-научная картина мира» отметим следующее. Современное естествознание представляет собой весьма разветвленную область научного

знания, затрагивающего широкий спектр вопросов о самых разных аспектах жизнедеятельности природы. Ведущими науками XX в. по праву можно считать физику, астрономию, биологию, кибернетику (неразрывно связанную с вычислительной техникой и компьютеризацией). В рамках физики, в свою очередь, выделяются ядерная физика, теория относительности, квантовая механика, синергетика. Важнейшие составные части биологии: эволюционное учение, генетика, экология, этология, нашедшие свое продолжение в естественных науках о человеке — его происхождении, индивидуальном и видовом развитии. Усиливаются взаимосвязи как внутри самого естествознания, так и между естественными, гуманитарными и техническими науками. Вторая половина XX в. — это время научно-технической революции, характеризующейся лидирующей ролью науки по отношению к технике и материальному производству.

Современное производство немислимо без опережающего развития фундаментальных наук и прикладных научных разработок. Усиление воздействия науки на общество и природу приводит к возникновению ряда трудно решаемых глобальных проблем.

Знакомясь с историей науки, важно обращать внимание на способы, методы познания, применявшиеся при решении тех или иных задач.

Наука XX в. завершилась расшифровкой генома человека, что открыло новые необычайные перспективы изменения наследственности. Нельзя сказать точно, какие новые открытия будут сделаны в XXI в., но можно с уверенностью утверждать, что они будут и во многом изменят представления о науке и жизни. Приведут ли они к росту технического могущества человека, увеличению продолжительности или, наоборот, грядущие научные достижения усугубят глобальные проблемы: экологические, демографические, продовольственные, технологические, предотвращения мировой термоядерной войны. Этот вопрос столь же неразрешим, как и вопрос о том, какие именно качественно новые открытия будут совершены.

Литература

1. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. – М: Изд-во МГУ, 2007. – 582 с.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т.1-5: учебное пособие / И.В. Савельев. – 5-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2011. – Т.1: Механика. – 352 с.
3. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т.1-5: учебное пособие / И.В. Савельев. – 5-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2011. – Т.2: Электричество и магнетизм. – 352 с.
4. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т.1-5: учебное пособие / И.В. Савельев. – 5-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2011. – Т.3: Молекулярная физика и термодинамика. – 208 с.
5. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т.1-5: учебное пособие / И.В. Савельев. – 5-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2011. – Т.5: Квантовая оптика, атомная физика, физика твёрдого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц. – 368 с.
6. Ким Де Чан, Левит Д.И. Гаспарян Г.Д. Радиационная экология. Учебное пособие. СПб.: Изд. «Лань», -2020. – 244с.
7. Ким Де Чан, Левит Д.И., Махро И.Г. Физика. Механика. Курс лекций с примерами решения задач. Учебное пособие. – СПб.: Изд. «Лань», 2019. – 408с. Рекомендовано УМО РАЕ по университетскому и техническому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов.
8. Ким Де Чан, Коновалов Н.П., Левит Д.И., Коновалов П.Н. Физика. Электричество и магнетизм. Курс лекций с примерами решения задач. Учебное пособие. – СПб.: Изд. «Лань», 2019. – 408с. Рекомендовано УМО РАЕ по университетскому и техническому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов
9. Воронов В.К., Гречнева М.В., Подоплелов А.В., Сагдеев Р.З. Концептуальные основы естествознания «Физика на переломе тысячелетий»: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД. 2016. – 304 с.
10. Садохин А. П. Концепции современного естествознания: учебник для студентов вузов, обучающихся по гуманитарным специальностям и специальностям экономики и управления / А.П. Садохин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. - 447 с.

11. Ким Д., Левит Д.И. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие. – Братск: ФБГОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 145 с.
12. Смолко В.А. Концепции современного естествознания: Монография.–Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 769 с.