

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

М.Я. Марусина
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
НАУКИ И ТЕХНИКИ

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2016

Марусина М.Я. Современные проблемы науки и техники. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 104 с.

Учебное пособие является междисциплинарным и может быть использовано магистрантами различных направлений укрупненной группы направлений подготовки 12.00.00 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии», а также других направлений подготовки, связанных с информационной техникой. В частности, оно направлено на формирование у магистрантов при изучении дисциплины «Современные проблемы науки и техники» общекультурных и профессиональных компетенций, связанных со способностью совершенствоваться и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, воспринимать и генерировать новые идеи, осознавать и формулировать основные проблемы своей предметной области.

Рецензенты:

В.Г.Кнорринг, д.т.н., профессор кафедры Измерительных информационных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, действительный член Метрологической Академии

Е.И.Нестерова, д.т.н., заведующая кафедрой компьютерной графики и дизайна Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения

Рекомендовано к печати Ученым советом факультета точной механики и технологий протокол № 3 от 10.03.2015 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

©Марусина М.Я., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ	7
1.1. Теоретико-методологические основы научно-исследовательской деятельности	7
1.1.1. Типология методов научного познания	7
1.1.1.1. Понятие науки	7
1.1.1.2. Классификация наук	8
1.1.1.3. Методы научного познания	10
1.1.2. Процесс научного и технического познания	14
1.1.2.1. Термины, характеризующие процесс научного и технического познания	14
1.1.2.2. Соотношение науки, техники и технологии	17
1.2. Контрольные вопросы по первому разделу	20
Раздел 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ	22
2.1. Проблемы космологии	22
2.1.1. Гипотеза Большого взрыва	22
2.1.2. Пространство и время	28
2.1.3. Темная материя и темная энергия	30
2.1.4. Антропный принцип Вселенной	33
2.2. Порядок и Хаос	35
2.2.1. Детерминированные и недетерминированные процессы	35
2.2.2. Энтропия	35
2.2.3. Информация	38
2.2.4. Шумовые процессы	41
2.3. Синергетика	44
2.3.1. От существующего к возникающему	44
2.3.2. Виды самоорганизации	45
2.3.3. Примеры самоорганизации в неживой природе	47

2.3.4. Примеры самоорганизации в живой природе.....	50
2.3.5. Самоорганизация в социально-экономических системах	50
2.4. Нанотехнологии	54
2.4.1. Нанотехнологии и наноматериалы	54
2.4.2. Применение наноразмерных материалов	57
2.4.3. Ограничения в использовании наноматериалов	60
2.5. Метаматериалы	62
2.5.1. Отрицательная рефракция и левые среды	62
2.5.2. Отрицательно преломляющие среды для света	63
2.5.3. Перспективы практического использования метаматериалов ..	64
2.5.4. Недостатки существующих метаматериалов и возникающие проблемы.....	67
2.6. Тридцать самых актуальных проблем физики и астрофизики	69
2.7. Контрольные вопросы по второму разделу	72
Раздел 3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ РФ	74
3.1. Особенности современного состояния развития науки, техники и технологий в Российской Федерации	74
3.2. Приоритетные направления развития науки, техники и технологий в Российской Федерации	84
3.3. Основные направления инновационно-технологического развития науки, экономики и образования в России	92
3.4. Методологические аспекты проведения научных исследований в рамках образовательного процесса в Университете ИТМО.....	94
Варианты индивидуальных заданий	94
Домашние задания.....	95
Темы рефератов	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
ЛИТЕРАТУРА	100

ВВЕДЕНИЕ

В условиях сложного и динамичного развития современного мира проблема состояния научных знаний приобретает новый смысл и значение, поскольку перед изменившимся и изменяющимся обществом стоят принципиально новые задачи, возникают потребность и необходимость осмысления происходящих преобразований в политике, науке, экономике, культуре и пр.

Современный уровень развития науки, техники и технологии, существенные изменения в политике и экономике заставляют отказываться от традиционных методов решения научных задач и переходить к методам, основанным на современных инновационных технологиях. Поэтому данный курс направлен на формирование у магистрантов навыков научного обоснования теоретических и прикладных исследований.

Цель данного учебного пособия – представить обзор наиболее крупных научных достижений в области естественных, технических и социально-экономических наук в их тесной взаимосвязи на основе теории самоорганизации. Для реализации этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- продемонстрировать универсальность методов, законов и моделей современной науки, ее междисциплинарный характер;
- показать динамический, развивающийся характер современного научного знания, его направленность от изучения существующего к стремлению понять возникающее;
- на конкретных примерах ознакомить обучающихся с обликом современной науки, предоставить им возможность систематизировать и закрепить полученные знания посредством выполнения тестовых заданий, приведенных в конце каждого раздела.

Дисциплина «Современные проблемы науки и техники» в федеральном государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования ФГОС ВПО для подготовки магистров относится к блоку дисциплин общенаучного цикла. Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет 108 часов или 3 зачетные единицы (в том числе, лекции – 34 часа, практические занятия – 17 часов, самостоятельная работа – 57 часов). Текущий контроль осуществляется контрольными опросами на лекциях и практических занятиях, защита отчетов (рефератов). Итоговый контроль – экзамен.

Целью освоения дисциплины является достижение следующих результатов образования:

знания:

на уровне представлений: проблем современной науки и техники, пути их решения;

на уровне воспроизведения: основных понятий, терминов и определений в области науки и техники; основ теории и практики научных исследований, методов научного поиска, получения информации, ее анализа, обобщения результатов;

на уровне понимания: закономерностей становления и развития научного знания.

умения:

теоретические: использовать современные фундаментальные знания по естественнонаучным направлениям подготовки;

практические: совершенствовать интеллектуальный и общекультурный уровень; осознавать и формулировать основные проблемы своей предметной области, применять универсальные методы и средства для их решения.

навыки:

способен анализировать, синтезировать и критически резюмировать научную информацию; формулировать задачи и разрабатывать план научного исследования.

Перечисленные результаты образования являются основой для формирования следующих **компетенций**:

общекультурных

ОК.СЛ.1 - способен совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, воспринимать и генерировать новые идеи;

ОК.ОН.3 - способен использовать современные фундаментальные знания по естественно-научным направлениям подготовки (физике, экологии, информатике и др.);

профессиональных

ПК.ОП.2 - способен осознавать и формулировать основные проблемы своей предметной области, применять универсальные методы и средства для их решения;

ПК.ОП.4 - способен анализировать, синтезировать и критически резюмировать научную информацию.

Междисциплинарные связи. В информационном и логическом планах дисциплина последовательно развивает дисциплины общенаучного и профессиональных циклов подготовки бакалавров по ФГОС. В свою очередь, она служит информационной и методологической основой при изучении дисциплин профессионального цикла магистерских программ, а также при подготовке магистерской диссертации по ФГОС.

Раздел 1. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

1.1. Теоретико-методологические основы научно-исследовательской деятельности

1.1.1. Типология методов научного познания

1.1.1.1. Понятие науки

Существует достаточно много определений понятия «наука». В [4] указано, что *«наука – это сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности, одна из форм общественного сознания»*.

Можно определить науку как [1, 2, 3]:

- *сферу человеческой деятельности, направленную на выработку и систематизацию новых знаний о природе, обществе, мышлении и познании окружающего мира (результат этой деятельности – система полученных научных знаний);*
- *одну из форм общественного сознания, социальный институт (система взаимосвязей между научными организациями и членами научного сообщества, а также системы научной информации, нормы, ценности науки и т.п.).*

В книге [7] под наукой понимается форма общественного сознания, включающая в себя как деятельность, направленную на получение новых знаний о природе, так и результат этой деятельности – сумму знаний, составляющих основу научной картины мира. Отношение общества к науке определяется степенью понимания ее ценности в данный момент времени: что полезного она дает отдельным людям и обществу в целом, кроме удовлетворения познавательного любопытства сравнительно небольшой группы людей, занимающихся ей профессионально? Ответ на этот вопрос опирается на понимание цели науки как описания, объяснения и предсказания процессов и явлений действительности, без чего не может существовать ни одна цивилизация.

Науку можно рассматривать [7] как систему, состоящую из:

- теории;
- методологии (учение об организации деятельности), методики и техники исследований;
- практики внедрения полученных результатов

При рассмотрении науки как результата взаимодействия субъекта и объекта познания, где под *объектом* понимается то, что изучает конкретная наука, на что направлено научное познание, а под *субъектом* понимается конкретный исследователь, научная группа или организация. Науку можно определить как *деятельность субъектов, применяющих*

определенные приемы, операции и методы для постижения объективной истины и выявления законов действительности.

Цели науки можно определить как – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет её изучения на основе открываемых ею законов, т.е. в широком смысле – теоретическое отражение действительности [1]. Непосредственные цели науки – получение знаний об объективном и о субъективном мире, постижение объективной истины.

Можно выделить следующие *задачи науки*:

- сбор, описание, анализ, обобщение и объяснение фактов;
- обнаружение законов движения природы, общества, мышления и познания;
- систематизация полученных знаний;
- объяснение сущности явлений и процессов;
- прогнозирование событий, явлений и процессов;
- установление направлений и форм практического использования полученных знаний.

1.1.1.2. Классификация наук

Существует достаточно много различных классификаций, отличающихся признаком систематического деления и упорядочения наук. По самой общей классификации в зависимости от сферы, предмета и метода познания различают науки:

- о природе – естественные;
- об обществе – гуманитарные и социальные;
- о мышлении и познании – логика, гносеология и др.

По классификации, приведенной в [1], науки делятся на *естественные, технические и социально-политические*. Характер их влияния на развитие общества различен. Естественные науки (физика, химия, биология, науки о Земле и др.), открывая законы развития живой и неживой природы, создают теоретическую базу для технических наук. В свою очередь, технические науки определяют уровень энерговооруженности, технической оснащенности и степень благосостояния общества. Социально-политические науки изучают процессы, происходящие в обществе, с целью его улучшения его устройства.

Существуют более детальные классификации, например, для высшего профессионального образования ВПО или для специальностей научных работников.

Классификатор направлений и специальностей ВПО:

- *естественные науки и математика* (механика, физика, химия, биология, почвоведение, геология, экология и др.);

- *гуманитарные и социально-экономические науки* (культурология, филология, философия, лингвистика, журналистика, история, политология, психология, социальная работа, социология, регионоведение, менеджмент, экономика, искусство, физическая культура, коммерция, статистика, юриспруденция и др.);
- *технические науки* (приборостроение, машиностроение, строительство, полиграфия, телекоммуникации, металлургия, горное дело, электроника и микроэлектроника, геодезия, архитектура и др.);
- *сельскохозяйственные науки* (агрономия, зоотехника, ветеринария, агроинженерия, лесное дело, рыболовство и др.).

По номенклатуре специальностей научных работников различают следующие отрасли наук: физико-математические, химические, биологические, геолого-минералогические, технические, сельскохозяйственные, исторические, экономические, философские, филологические, географические, юридические, педагогические, медицинские, фармацевтические, ветеринарные, искусствоведение, архитектура, психологические, социологические, политические, культурология и науки о земле.науки:

По классификации в зависимости от связи с практикой различают [3]:

- *фундаментальные* (теоретические) науки, предметом которых является выяснение основных законов объективного и субъективного мира;
- *прикладные науки*, направленные на решение технических, производственных или социально-технических проблем.

Фундаментальные научные исследования - это теоретические и (или) экспериментальные исследования, направленные на получение новых знаний об основных закономерностях развития природы, человека, общества и искусственно созданных объектов. Итогом реализации фундаментальных исследований может быть не только открытие и описание новых, неизвестных ранее в науке законов, явлений или процессов, раскрытие механизмов и закономерностей их протекания, но и познание новых закономерностей, на основе уже известных законов и явлений. Фундаментальные исследования закладывают основу для дальнейших прикладных исследований.

Прикладные научные исследования – исследования, направленные на применение результатов фундаментальных научных исследований, достижение практических целей и решение конкретных задач. Они имеют своей целью вполне конкретное использование фундаментальных знаний в практической деятельности людей, обоснование путей использования возможных положительных результатов человечеством в практической деятельности или ограждение человека от отрицательных последствий в экстремальных условиях применения новых знаний. Характерной особенностью таких исследований является возможность прогнозирования

с достаточно высокой вероятностью сроков реализации поставленной цели, конечных результатов и их экономической эффективности.

Промежуточными между этими двумя крайними формами являются *фундаментально-прикладные исследования* – фундаментальные работы, как правило, крупного масштаба, комплексного характера, нацеленные на решение важнейших глобальных народнохозяйственных и социально-культурных проблем (например, проблем получения термоядерной энергии, сверхмощных лазеров и т.д.)».

Можно определить фундаментальные исследования, как исследования, возникающие в ходе развития самой науки и определяющие облик будущего состояния, как самой науки, так и уровень жизни общества. Прикладные исследования напротив направлены на решение проблем, которые ставятся перед учеными извне, т. е. заказчиком.

Такое разделение научных исследований на фундаментальные и прикладные является довольно условным. Иногда прикладные по своему существу исследования обряжаются в одежды фундаментальных, ошибочно понимаемых как «основные», «важные», а впоследствии выясняется их бесперспективность и неоправданность вложенных в них средств. В других случаях, прикладные исследования могут оказать огромное влияние на развитие самой науки, и перерасти в фундаментальные, а фундаментальные, казалось бы, исследования могут привести к крайне незначительным результатам. В связи с этим приведенное выше деление наук на фундаментальные и прикладные не может служить критерием для финансирования. Истинную важность тех или иных исследований и оправданность вложенных в них финансовых средств покажет время. Текущее финансирование науки определяется, с одной стороны, потребностями и возможностями государства, а с другой стороны – способностью самих ученых обосновать актуальность и практическую значимость своих исследований [7].

Существует также гносеологическая классификация наук:

- «сильные» науки (математика, физика, отчасти другие естественные науки, теории которых строятся на строго дедуктивной основе);
- «слабые» науки (в частности, гуманитарные и общественные науки в силу чрезвычайной сложности их объектов, слабой предсказуемости явлений и процессов).

1.1.1.3. Методы научного познания

Научное познание – особый вид познавательной деятельности, направленный на выработку объективных, системно организованных и обоснованных знаний о природе, человеке и обществе.

Независимо от вида науки, используемые в ней *методы научного познания* подразделяются на [7]:

- эмпирические,
- теоретически,
- общенаучные.

К методам эмпирического познания относятся *наблюдение, эксперимент и измерение.*

Наблюдение – это чувственное отражение предметов и явлений внешнего мира, позволяющее получить некоторую первичную информацию о них. Особенности научного наблюдения являются планомерность, целенаправленность и активность. По способу проведения наблюдения делятся на непосредственные, опосредованные (с помощью каких-либо приборов) и косвенные.

Эксперимент – это выявление и изучение тех или иных свойств исследуемого объекта или явления путем активного, целенаправленного и строго контролируемого воздействия на них. Особенности научного эксперимента являются возможность устранения побочных факторов, возможность создания экстремальных условий, возможность вмешиваться в ход эксперимента, воспроизводимость полученных результатов.

Измерение – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. Измерения делятся на прямые и косвенные, а их результаты выражаются в единицах некоторой системы единиц измерений.

К методам теоретического познания относятся *абстрагирование, идеализация, формализация, индукция и дедукция.*

Абстрагирование – это мысленное отвлечение от менее существенных признаков конкретного объекта или явления с одновременным выделением его главных признаков. Абстрагирование бывает отождествляющим (например, металл, человек, птица) или изолирующим (например, электропроводность, растворимость, упругость). В результате абстрагирования теряется полнота, но сохраняется целостность явления.

Идеализация – это мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект или явление в соответствии с целями исследования. Это могут быть следующие цели: упрощение (например, понятие материальной точки или идеальной жидкости), очищение (например, понятие цикла Карно с сохранением лишь изотермического и адиабатического процессов), отбрасывание деталей, не влияющих на суть явления (например, цвета автомобиля на скорость его движения).

Формализация – это замена слов, характеризующих свойства объекта или явления, некоторыми символами (знаками) с целью

математического описания присущих этому объекту или явлению закономерностей. Для этого необходимо задание алфавита (т. е. набора символов), задание правил, по которым из этих символов строятся «слова» (формулы), задание правил, по которым из «слов» получаются «предложения».

*Индукция (от лат. *inductio* – наведение, стимулирование) – это метод познания, основанный на получении общего вывода на основании частных умозаключений. Основоположником индуктивного метода в науке является английский философ Ф. Бэкон (1561–1626).*

*Дедукция (от лат. *deductio* – выведение) – это метод познания, основанный на получении частных выводов на основании общих положений. Основоположником этого метода является французский ученый Р. Декарт (1596–1650).*

К общенаучным методам познания относятся *анализ и синтез, аналогия и моделирование.*

Анализ – это разделение объекта (мысленно или реально) на составные части с целью их отдельного изучения.

Синтез – это переход от изучения отдельных составных частей объекта к изучению его как единого связанного целого.

Под аналогией понимается подобие, сходство каких-то свойств, признаков или отношений у различных объектов. Вероятность правильного умозаключения на основании аналогии тем выше, чем больше общих признаков у сравниваемых объектов, чем существеннее у них общие свойства, чем глубже взаимная закономерная связь этих сходных свойств.

Под моделированием понимается изучение объекта (оригинала) путем замены его на другой объект (модель), свойства которого находятся во взаимно однозначном соответствии со свойствами оригинала. Различают следующие виды моделирования: мысленное, физическое, символическое, в частности, математическое и численное (на компьютере) [7].

Моделью называется некий объект-заместитель, который в определенных условиях может заменять объект-оригинал, воспроизводя интересные исследователя свойства и характеристики оригинала.

Моделью какой-либо системы называется другая система, изучение которой позволяет сделать выводы о поведении исходной системы (оригинала).

Под моделированием следует понимать процесс адекватного отображения наиболее существенных сторон исследуемого объекта или явления с точностью, которая необходима для практических нужд. В общем случае моделированием можно назвать также особую форму опосредствования, основой которой является формализованный подход к исследованию сложной системы.

Теоретической базой моделирования является теория подобия. *Подобие* – это взаимно однозначное соответствие между двумя объектами, при котором известны функции перехода от параметров одного объекта к параметрам другого, а математические описания этих объектов могут быть преобразованы в тождественные.

При моделировании модель выступает и как средство, и как объект исследований, находящийся в отношении подобия к моделируемому объекту.

Моделирование является неотъемлемым этапом всякой целенаправленной деятельности. Важнейшим организующим элементом деятельности является цель – образ желаемого будущего, т.е. модель состояния, на реализацию которого направлена деятельность. Целью математического моделирования является анализ реальных процессов (в природе или технике) математическими методами. Однако роль моделирования этим не ограничивается. Системность деятельности проявляется в том, что она осуществляется по определенному плану, или, как чаще говорят, по алгоритму. То есть *алгоритм* – образ будущей деятельности, ее модель. В алгоритме моделируются все возможные ситуации, в зависимости от различных промежуточных значений параметров, возможные шаги деятельности не выполняются реально, а проигрываются на модели.

Различают следующие виды моделей:

- ✓ *Словесные или вербальные*, к ним относятся описания системы-оригинала.
- ✓ *Натурные и полунатурные*, к ним относятся макеты системы-оригинала.
- ✓ *Аналоговые*, которые основаны на том, что различные физические явления могут описываться одинаковыми математическими соотношениями. Так, например, с помощью дифференциального уравнения Лапласа

$$\frac{\partial^2 A}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial \beta^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial \gamma^2} = 0$$

можно описать:

- распределение электрического потенциала в области пространства;
- стационарное распределение температуры в сплошной среде;
- течение идеальной (лишенной внутреннего трения) жидкости.

Таким образом, исследование распределения температуры в теле сложной формы можно заменить исследованием распределения электрического потенциала в некоторой области, выполнить которое существенно проще.

- ✓ *Математические модели*, которые основаны на анализе и решении математических соотношений (уравнений, систем уравнений, неравенств и т.д.), описывающих характеристики системы-оригинала.

1.1.2. Процесс научного и технического познания

1.1.2.1. Термины, характеризующие процесс научного и технического познания

Научная деятельность – «творческая деятельность, направленная на получение новых знаний о человеке, природе, обществе, искусственно созданных объектах и на использование научных знаний для разработки новых способов их применения».

Научное исследование – «один из видов познавательной деятельности, представляющий собой процесс выработки новых научных знаний». Это целенаправленное познание, комплекс логических построений и экспериментальных операций, выполненных в отношении объекта исследования для определения свойств объекта и закономерностей его поведения. Продуктом научного исследования являются научные знания. Научные знания появляются лишь тогда, когда поставлена определенная цель, когда в результате применения соответствующие методов получены достоверные экспериментальные данные о рассматриваемых явлениях, систематизация и обработка которых позволила вскрыть закономерности, а также сделать логически обоснованные и аргументированные выводы и сформулировать новые научные положения.

Понятие *техника* является одним из самых древних и широко распространенное сегодня. До недавнего времени оно применялось для обозначения некоторой неопределенной деятельности или некоторой совокупности материальных образований. Содержание понятия техники исторически трансформировалось, отражая развитие способов производства и средств труда.

Существует множество определений техники:

- греч. «technike» – ремесло, искусство, мастерство;
- совокупность приемов и приспособлений, применяемых для получения наибольших результатов при наименьшей затрате человеческого труда [6];
- круг наук, связанных с изучением и созданием средств производств, орудий труда [5].

В энциклопедическом словаре русского языка понятие «техника» определяется в двух значениях: «совокупность средств, создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания непроизводственных потребностей общества», там же определяется основное ее назначение: «полная или частичная замена производственных

функций человека с целью облегчения труда и повышения его производительности». Второе значение слова: «совокупность приемов и правил выполнения чего-либо».

Техника относится к группе искусственно преобразованных фрагментов природы в отличие от природных объектов, которые человек вовлекает в различные сферы жизнедеятельности. Техническая деятельность на основе природных процессов создает новые неприродные образования, удовлетворяющие потребности человека.

Понятие *технический объект* обозначает такое техническое явление, которое обладает всеми основными признаками общего класса технических образований. Отдельный технический объект является наиболее полной единичной клеткой технического мира (техносферы).

В процессе развития техники искусственные формы природы постепенно вытесняют используемые естественные формы. Начиная от самых простых, человек последовательно создает искусственные формы все большей сложности. Характер возникновения и развития искусственных образований существенно отличается от естественных, так как, развитие техники обуславливается не естественной эволюцией, а деятельностью человека.

Техника возникла вместе с возникновением человека (*Homo sapiens*) и долгое время развивалась независимо от всякой науки. Сама наука не имела долгое время особой дисциплинарной организации и не была ориентирована на сознательное применение создаваемых ею знаний в технической сфере.

Качественные изменения техники связаны с такими этапами ее прогрессивного развития, которые до этих изменений выполнялись человеком. Современная техника вслед за функциями непосредственного воздействия на объект деятельности и энергетической функции становится способной выполнять управленческие функции.

Развитие функций техники – это развитие функций человека, их усиление, усложнение. Если представить, что техника сможет выполнять функции, которых нет у человека, то это будет уже не техника.

Анализируя современное состояние в развитии техники, можно выделить два главных взаимообусловленных аспекта ее развития. Первый – это автоматизация существующего производства. С понятием автоматизации производства связывают самые различные явления от автоматического станка до автоматизированного производства. Автоматизированное производство существует пока скорее гипотетически, и каким должно быть автоматическое производство – это вторая и наиболее сложная сторона развития современной техники.

Основные закономерности развития техники детерминируются основными отношениями техники в системе социальной материи и выражаются обусловленностью техники мерой человека и мерой природы,

с одной стороны, и влиянием техники на человека и природу, с другой. Таким образом, функционально-морфологические изменения системы технических объектов можно свести к следующим основным взаимообусловленным закономерностям:

- тенденция к усилению степени опосредования в отношении человек-природа;
- усложнение и развитие системы вариативных социальных функций техники;
- качественное усложнение морфологической структуры системы техники, которое выражается в формировании многоуровневых технических объектов.

Итак, под *техникой* следует понимать:

- ✓ совокупность технических устройств, артефактов – от отдельных простейших орудий до сложнейших технических систем;
- ✓ совокупность различных видов технической деятельности по созданию этих устройств – от научно-технического исследования и проектирования до их изготовления на производстве и эксплуатации, от разработки отдельных элементов технических систем до системного исследования и проектирования;
- ✓ совокупность технических знаний – от специализированных рецептурно-технических до теоретических научно-технических и системотехнических знаний.

Понятие *технология* трактуется в [4] следующим образом: «Технология – совокупность приемов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, полуфабрикатов или изделий, осуществляемых в различных отраслях промышленности, строительстве и т.д.; научная дисциплина, разрабатывающая такие приемы и способы, сами операции добычи, обработки, переработки, хранения, которые являются основной составной частью производственного процесса; описание производственных процессов, инструкции по их выполнению, технологические правила, требования, карты, графики и др.»

Более узкую и несколько иную по содержанию трактовку дают авторы политехнического словаря [3]: «Технология – это совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, применяемых в процессе производства, для получения готовой продукции, наука о способах воздействия на сырье, материалы и полупродукты соответствующими орудиями производства».

Приборостроение – отрасль науки и техники, являющаяся отраслью машиностроения, разрабатывающая и производящая средства измерения, обработки и представления информации, автоматические и автоматизированные системы управления.

1.1.2.2. Соотношение науки, техники и технологии

Можно выделить следующие основные подходы к соотношению науки и техники:

- техника рассматривается как прикладная наука;
- процессы развития науки и техники рассматриваются как автономные, но скоординированные процессы;
- наука развивалась, ориентируясь на развитие технических аппаратов и инструментов;
- техника науки во все времена обгоняла технику повседневной жизни;
- до конца XIX в. регулярного применения научных знаний в технической практике не было, но оно характерно для современных технических наук.

Долгое время (особенно в 50-60-е гг. прошлого столетия), одной из наиболее распространенных моделей, была так называемая *линейная модель*, рассматривающая технику в качестве простого приложения науки или даже – как прикладную науку. Однако эта точка зрения в последние годы подверглась серьезной критике как слишком упрощенная. Такая модель взаимоотношения науки и техники, когда за наукой признается функция производства знания, а за техникой – лишь его применение, вводит в заблуждение, так как утверждает, что наука и техника представляют различные функции, выполняемые одним и тем же сообществом.

Процессы развития науки и техники часто рассматриваются как автономные, независимые друг от друга, но скоординированные. Тогда вопрос их соотношения решается так: (а) полагают, что наука на некоторых стадиях своего развития использует технику инструментально для получения собственных результатов, и наоборот - бывает так, что техника использует научные результаты в качестве инструмента для достижения своих целей; (б) высказывается мнение, что техника задает условия для выбора научных вариантов, а наука в свою очередь - технических. Последнее называют *эволюционной моделью*. В эволюционной модели соотношения науки и техники выделяются три взаимосвязанные, но самостоятельные сферы: наука, техника и производство. Внутренний инновационный процесс происходит в каждой из этих сфер по эволюционной схеме.

Характерной особенностью современного периода развития общества является то, что практические задачи по созданию новых веществ и материалов, обоснованию оптимальных вариантов производств, внедрению новых современных технологий, невозможно без комплексного научного исследования, имеющего признаки фундаментальности. При этом временной период, разделяющий фундаментальные разработки и их

практическую реализацию, резко сократился. То, что раньше осуществлялось в науке на протяжении нескольких лет, а иногда и десятилетий, сегодня в условиях ужесточения конкурентной борьбы за рынки сбыта занимает месяцы. Это приводит к постоянному формированию все новых и новых направлений в науке.

Тот факт, что исследование является фундаментальным, еще не означает, что его результаты не утилитарны. Работа же, направленная на прикладные цели, может быть фундаментальной. Критериями их разделения являются в основном временной фактор и степень общности. Вполне правомерно сегодня говорить и о фундаментальном промышленном исследовании.

Хороший техник ищет решения, даже если они еще не полностью приняты наукой, а прикладные исследования и разработки все более и более выполняются людьми с исходной подготовкой в области фундаментальной науки. Таким образом, в научно-технических дисциплинах необходимо четко различать исследования, включенные в непосредственную инженерную деятельность (независимо от того, в каких организационных формах они протекают), и теоретические исследования, которые мы будем далее называть технической теорией.

На всех иерархических уровнях организации *технология* делится на *практическую* (объективную), *научную* и *теоретическую* (субъективную). С практической технологией непосредственно связана научная, а с научной – теоретическая.

Практическая технология – это отработанная опытом совокупность процессов и операций по созданию определенного вида потребительной стоимости. Данная технология может быть представлена, изображена, описана и т.д.

Задачи действующей технологии меняются от условий ее функционирования. К основным задачам в области материального производства относят:

- изыскание и реализацию средств интенсификации технологических процессов;
- контроль технологических средств производства, изменение условий производства;
- подготовку производства к выпуску новых товаров или товаров улучшенного качества.

Характерными признаками объективной, действующей технологии являются: динамизм, конкретность, материальная обусловленность и логичность (строгая последовательность действий, операций, движений).

Динамизм технологии отражает выполнение каких-либо процессов, движений, действий, промежуточные состояния которых можно изобразить в виде условных обозначений, рисунков, схем, чертежей, а полностью – с помощью современных технических средств. Это могут

быть производственные, управленческие (как обработать информацию и принять решение), а также творческие (как получить новые технологии) процессы.

Конкретность технологии отражается в целенаправленности ее процессов к достижению определенного результата.

Конкретность тесно связана с материальной обусловленностью технологии, которая предполагает наличие трех компонентов объективного мира: предметов труда, средств труда и самого труда. Современные масштабы этих компонентов таковы, что требуют строгого контроля, как внутренних процессов, так и внешнего взаимодействия с природой. Современная *научная технология* призвана не просто изучать и проектировать производственные системы, а реализовывать из них наиболее эффективные или обеспечить новые воздействия на предметы труда, которые бы значительно превосходили существующие по производительности, скорости, безопасности и экономичности.

Логичность (строгая последовательность действий, операций, движений) технологии – это упорядоченность во времени и пространстве основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, их полная взаимоувязка по всем параметрам (производительность, скорость и т.д.). Логичность обычно отрабатывается длительное время опытным путем, практикой, испытанием и проверкой, как отдельных процессов, так и их совокупности в реальных условиях производства и окружающей среды. В этом случае вырабатываются также необходимые навыки у исполнителей, требования к производственному процессу, соблюдению мер безопасности и т.д.

Научная технология изучает и обобщает опыт создания потребительных стоимостей. Предмет ее исследования – процессы взаимодействия средств труда, предметов труда и окружающей среды при создании всего многообразия потребительных стоимостей. В области материального производства ее задачи следующие:

- изучение закономерностей протекания процессов преобразования предметов труда в продукцию или товары;
- изыскание прогрессивных способов воздействия на предметы труда, их проверка; разработка мероприятий по защите природы; выбор и проектирование наиболее эффективной и безопасной практической технологии.

Теоретическая технология изучает диалектику технологии и возможность использования законов развития природы и общества для преобразования материального и духовного мира человека. Предмет ее исследования – процессы развития познающей и преобразующей деятельности человека. Основные задачи:

- познание законов взаимодействия человека с природой;

- изучение возможностей и условий практического применения познанных законов или закономерностей;
- разработка, обоснование и экспериментальная проверка новых технологических процессов.

Технология прочно объединяет естествознание, с которым взаимодействует на низших уровнях (снизу), науку и технику (средние уровни иерархии), экономику, политику и управление (верхние).

Технология как основа жизни общества дает те потребительные стоимости, образы которых формирует политика. Экономика, являясь своеобразным проводником и регулятором потоков материальных и духовных ценностей, в условиях глубокого разделения труда стала играть исключительную роль в развитии производительных сил общества. Поэтому разрыв связей между технологией, естествознанием, техникой, экономикой и политикой недопустим. Проникая в область экономики, политики и управления, технология конкретизирует цели, принципы и решения практических задач развития общества, отдельных регионов и цивилизации в целом.

1.2. Контрольные вопросы по первому разделу

1. Дайте определение понятию «наука».
2. Что такое методология?
3. Сформулируйте цели и задачи науки.
4. Приведите примеры классификации наук, отличающиеся признаками систематического деления и упорядочения наук.
5. Опишите цели и задачи фундаментальных и прикладных научных исследований. Является ли такая классификация научных исследований условной? Обоснуйте Ваше мнение. Приведите примеры фундаментальных и прикладных научных исследований.
6. Дайте определение понятию «научное познание» и перечислите методы научного познания.
7. Приведите определения эмпирических методов научного познания: наблюдение, эксперимент и измерение.
8. Приведите определения теоретических методов научного познания: абстрагирование, идеализация, формализация, индукция и дедукция.
9. Приведите определения общенаучных методов научного познания: анализ и синтез, аналогия и моделирование.
10. Дайте определения понятиям «научная деятельность» и «научные исследования».
11. Дайте определение понятию «техника». Поясните историческую трансформацию этого понятия.
12. Определите основные закономерности развития техники на современном этапе.

13. Опишите линейную и эволюционную модель соотношения науки и техники. Докажите принципиальные отличия этих моделей.
14. Дайте определение понятию «технология». Опишите особенности практической (объективной), научной и теоретической (субъективной) технологий.
15. Опишите соотношение (сходство, различие, взаимодействие) науки, техники и технологии.

Раздел 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ

2.1. Проблемы космологии

2.1.1. Гипотеза Большого взрыва

Космология (от греч. κόσμος – мир, Вселенная, а также строй, порядок, в противоположность хаосу, и λόγος – слово, учение) – учение о Вселенной как целом и о всей охваченной астрономическими наблюдениями области Вселенной как части этого целого [1].

Древнейшие космологические представления нашли отражение в мифах, в дальнейшем космология развивалась как раздел астрономии. Нередко ее рассматривают также как раздел физики или философии. Фактически современная космология является пограничной наукой на стыке астрономии, физики и философии. Наиболее общие положения космологии имеют непосредственно философский характер, поэтому космология являлась и является ареной борьбы мировоззрений [2].

Сколько существует человек, столько времени он пытается понять происхождение и устройство окружающего мира. Ранние попытки объяснить, как возникли Земля, Солнце, Луна, планеты и звезды содержатся в космогонических мифах всех народов. Большинство из этих мифов связывают возникновение гармонично устроенной Вселенной из первородного хаоса с деятельностью какого-либо духа или бога – творца мира. Эти представления вошли затем в религию. Религиозные мифы всех народов можно разделить на космогонические (о сотворении) и эсхатологические (об уничтожении) существующего мира.

Становление научной космологии было подготовлено победой гелиоцентризма над геоцентризмом и открытием закона всемирного тяготения.

Возникновение современной космологии связано с развитием в XX веке общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна и физики элементарных частиц. Первое исследование на эту тему, опирающееся на ОТО, Эйнштейн опубликовал в 1917 году под названием «Космологические соображения к общей теории относительности». В ней он ввёл 3 предположения: Вселенная однородна, изотропна и стационарна. Чтобы обеспечить последнее требование, Эйнштейн ввёл в уравнения гравитационного поля дополнительный «космологический член». Полученное им решение означало, что Вселенная имеет конечный объём (замкнута) и положительную кривизну.

В 1922 году А. А. Фридман предложил нестационарное решение уравнения Эйнштейна, в котором изотропная Вселенная расширялась из начальной сингулярности. Подтверждением теории нестационарной вселенной стало открытие в 1929 году американским астрономом Э.

Хабблом космологического красного смещения галактик. Таким образом, возникла общепринятая сейчас теория Большого взрыва.

Э. Хаббл объяснил смещение излучения удаленных галактик в красную часть спектра тем, что галактики удаляются друг от друга, а смещение излучения в сторону более длинных волн обусловлено эффектом Доплера.

Закон, открытый Хабблом, записывается в виде

$$v = HR, \quad (2.1)$$

где v — скорость удаления галактики от наблюдателя, R — расстояние до нее, а $H = 3 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$ — постоянная Хаббла.

Исходя из закона Хаббла, американский астрофизик русского происхождения Дж. Гамов разработал в 1946 г. теорию «горячей Вселенной» согласно которой наша Вселенная возникла из сверхплотного сгустка энергии (первичной сингулярности), который расширяется подобно взрыву. Возраст Вселенной или время, которое отделяет нас от Большого взрыва, можно найти из закона Хаббла:

$$T_{\text{Всел}} = \frac{R}{v} = \frac{1}{H} = 15 \text{ млрд. лет.}$$



Джордж (Георгий Антонович) Гамов (1904 – 1968)

На рис. 2.1 горизонтальные линии отмечают характерные моменты эволюции, а отсеченные ими треугольники показывают область Вселенной, доступную наблюдателю в этот момент. Чем больше времени прошло от начала расширения, тем большая область становится доступной для наблюдения. В настоящее время свет приходит к нам от звезд,

квазаров и скоплений галактик, удаленных на миллиарды световых лет, но в ранние эпохи наблюдатель мог видеть гораздо меньшую область Вселенной. В различные эпохи доминировали разные формы материи: в наше время доминирует вещество атомных ядер (нуклонов), до этого, когда Вселенная была горячее, доминировало излучение (фотоны), а еще раньше - легкие элементарные частицы (лептоны) и тяжелые (адроны).

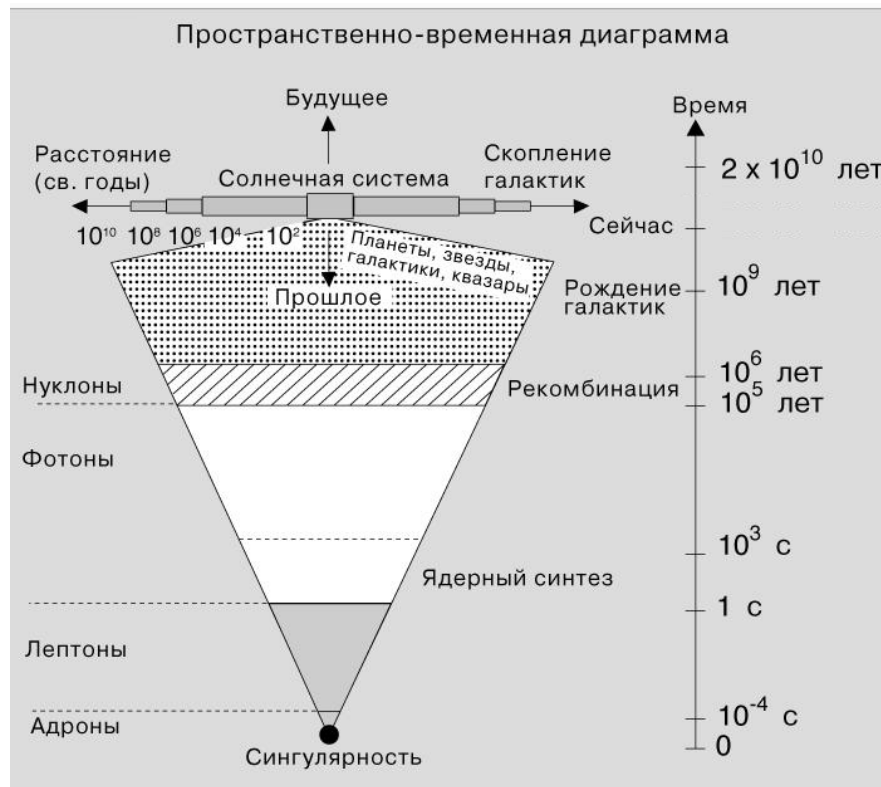


Рис. 2.1. Стандартная модель большого взрыва
(время отложено по вертикали, а расстояния - по горизонтали)

Эпоха, соответствующая температуре времени расширения $t \sim 1$ с, является, вероятно, наиболее ранней, о которой есть прямые наблюдательные свидетельства. В ту эпоху должно было происходить образование ядер гелия, дейтерия и других лёгких элементов из протонов и нейтронов. Содержание этих элементов в современном космическом веществе согласуется с расчётными значениями, что говорит о космологическом происхождении лёгких элементов (тяжёлые элементы синтезируются в звёздах).

После образования ядер лёгких элементов ($t \sim 60$ с) вещество ещё длительное время (около 1 млн. лет) представляло собой плазму. В термодинамическом равновесии с плазмой находилось излучение (температура вещества, т. е. протонов, электронов, ядер лёгких элементов, была равна температуре излучения). Высокие плотность и температура излучения не позволяли образовываться нейтральным атомам (было много

фотонов, способных ионизовать вещество). После снижения температуры до $T = 4000 \text{ К}$ электроны смогли присоединяться к ядрам элементов - наступила т. н. эпоха разделения вещества и излучения (не совсем точно, но короче её называют эпохой рекомбинации). Фотоны перестали активно взаимодействовать с веществом, начали распространяться свободно и наблюдаются сейчас в виде равновесного микроволнового фонового излучения (реликтового излучения).

В рамках гипотезы Большого взрыва Гамов предсказал существование реликтового излучения Вселенной, т. е. древнейшего излучения, оставшегося с первых мгновений после начала процесса расширения. Вследствие остывания при расширении Вселенной энергия квантов этого излучения к настоящему времени существенно уменьшилась, а длина волны излучения увеличилась, так что оно из видимого диапазона переместилось в радиоволновый диапазон электромагнитных волн. Реликтовое излучение было экспериментально открыто в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном с помощью радиотелескопа. Оказалось, что оно однородным образом заполняет всю наблюдаемую Вселенную и соответствует температуре около 3 К . Сценарий событий, последовавших после начала Большого взрыва, представлен в табл. 2.1

Таблица 2.1

Последовательность событий, последовавших после начала Большого взрыва

Космологическое время	Событие
0	Большой взрыв
10^{-10} с	Кварки
10^{-6} с	Протоны и нейтроны
1 с	Электроны
1 мин	Синтез гелия и дейтерия
10 000 лет	Вещество
300 000 лет	Отделение излучения от
1–2 млрд лет	Галактики
4 млрд. Лет	Звезды

Из описанной модели следует, что первоначально в нашей Вселенной не было ни одного атома вещества, только излучение. Частицы, и прежде всего составляющие нуклонов – кварки, возникли из квантов излучения по мере уменьшения их энергии и приобретения возможности образовывать связанные состояния с отличной от нуля массой покоя. Первоначально вся Вселенная была заполнена атомами наиболее простого химического элемента – водорода. В водородных «облаках» имелись неоднородности плотности, вследствие чего происходило их гравитационное сжатие в сгустки, сопровождающееся повышением

температуры. Когда температура в центре такого сгустка достигала нескольких десятков миллионов градусов, начинались термоядерные реакции синтеза гелия и дейтерия. В ранней Вселенной образовавшееся таким образом вещество было равномерно перемешано с излучением. Продолжающееся гравитационное и центробежное (из-за вращения сгустков) отделение вещества от излучения привело, в конце концов, к возникновению галактик и вспыхнувших в них звезд.

В результате гравитационного сжатия газо-пылевого сгустка вначале возникает нагретая до высокой температуры протозвезда. Сжатие происходит до тех пор, пока температура не достигнет ~ 10 млн градусов. Тогда начинается термоядерный синтез гелия из водорода, и протозвезда становится звездой. Давление продуктов реакции «раздувает» звезду, и она превращается в красный гигант. Остывание красного гиганта приводит к уменьшению давления газов и сжатию звезды. Затем она вновь разгорается. Далее возможно два варианта: 1) снова увеличение в размерах с последующим сжатием (переменные звезды) или 2) дальнейшее остывание и сжатие.

Конечная стадия жизни звезды зависит от ее массы. Возможны следующие частные случаи:

$$M = 1,25 M^*,$$

предел Чандрасекара, 1930 г. – превращение в белого карлика (плотностью $\rho \sim 60 \text{ т/см}^3$) с последующим остыванием до темного несветящегося объекта. Здесь M^* - масса Солнца.

$$1,25 M^* < M < 3 M^*,$$

предел Бааде и Цвикки, 1934 г. – превращение в нейтронную звезду (плотностью $\rho \sim 2 \cdot 10^3 \text{ т/см}^3$). Как было показано Э. Хьюишем в 1967 году, нейтронные звезды – это пульсары. Они излучают в радиоволновом диапазоне, причем из-за быстрого вращения пульсаров их излучение доходит до нас в виде периодически чередующихся импульсов.

$$M > 3 M^*,$$

гравитационный коллапс и превращение в черную дыру. Такая ситуация возникает, если кинетической энергии фотона недостаточно, чтобы преодолеть энергию гравитационного притяжения звезды.

Английский геофизик и астроном Джон Мичелл (J. Michell, 1724–1793) еще в XVIII в. предположил, что в природе могут существовать столь массивные звезды, что даже луч света не способен покинуть их поверхность. Используя законы Ньютона, Мичелл рассчитал, что если бы звезда с массой Солнца имела радиус не более 3 км, то даже частицы света (которые он, вслед за Ньютоном, считал корпускулами) не могли бы улететь далеко от такой звезды. Поэтому такая звезда казалась бы издалека абсолютно темной.

Такую же идею высказал в своей книге «Система мира» (1796) французский математик и астроном П. С. Лаплас. Простой расчет позволил ему написать: «Светящаяся звезда с плотностью, равной плотности Земли, и диаметром, в 250 раз большим диаметра Солнца, не дает ни одному световому лучу достичь нас из-за своего тяготения; поэтому возможно, что самые яркие небесные тела во Вселенной оказываются по этой причине невидимыми». Однако масса такой звезды должна была бы в десятки миллионов раз превосходить массу Солнца. А поскольку дальнейшие астрономические измерения показали, что массы реальных звезд не очень сильно отличаются от солнечной, идея Мичела и Лапласа о черных дырах была забыта.



Пьер Симон Лаплас
(1749-1827)



Карл Шварцшильд
(1873-1916)

Во второй раз ученые «столкнулись» с черными дырами в 1916, когда немецкий астроном К. Шварцшильд получил первое точное решение уравнений только что созданной тогда А. Эйнштейном общей теории относительности (ОТО). Оказалось, что пустое пространство вокруг массивной точки обладает особенностью на расстоянии R_0 от нее. Именно поэтому величину R_0 часто называют шварцшильдовским радиусом», а соответствующую поверхность (горизонт событий) – шварцшильдовской поверхностью.

Основная особенность черных дыр связана с тем, что у них нет поверхности, а есть так называемый горизонт событий и никакой носитель информации не способен выйти него. Получается, что внутренняя часть черной дыры причинно не связана с остальной Вселенной. Происходящие внутри черной дыры физические процессы не могут влиять на процессы вне ее. В то же время, вещество и излучение, падающие снаружи на

черную дыру, свободно проникают внутрь через горизонт событий. Можно сказать, что черная дыра все поглощает и ничего не выпускает. По этой причине и родился термин «черная дыра», предложенный в 1967 г. американским физиком Дж. А. Уилером.

На рис. 2.2. показана схема черной дыры и ход световых лучей в ее окрестности. Из рисунка видно, что пространство вблизи горизонта событий сильно искривлено.

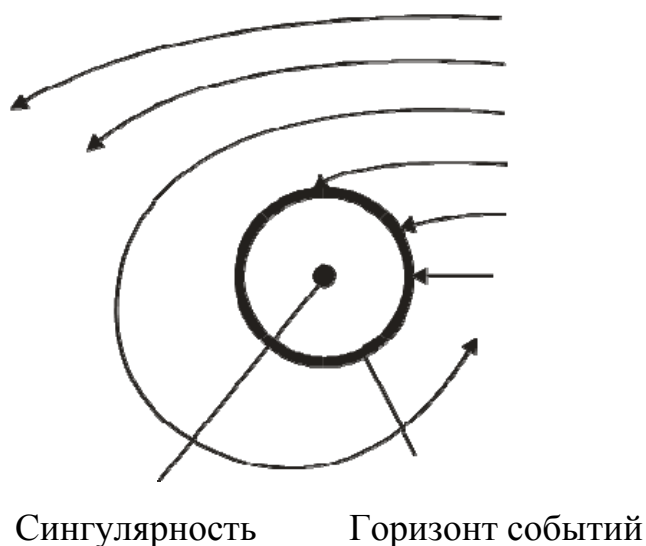


Рис. 2.2. Строение черной дыры

В процессе гравитационного коллапса вещество внутри черной дыры неудержимо сжимается, приближаясь к конечной сингулярности.

2.1.2. Пространство и время

Строгое определение понятий «пространство» и «время» было дано еще в начале XIV в. английским философом У. Оккамом (1285–1349). Согласно Оккаму, пространство – это мера структуры и протяженности материи, а время – это мера длительности событий и явлений материального мира. В классической физике, основанной на работах Галилея (1564–1642) и Ньютона (1643–1727), пространство и время считаются абсолютными (не зависят от выбора системы отсчета) и наделяются свойствами, указанными в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Свойства пространства и времени в классической физике

Пространство	Время
1. Трехмерно	1. Одномерно
2. Евклидово	2. Евклидово
3. Однородно	3. Однородно

4. Изотропно	4. Необратимо
5. Континуально	5. Континуально

Эти свойства не противоречат нашему повседневному опыту и отражают объективные характеристики макромира. Но они совершенно не обязательно должны быть такими же в микро- или мега- мире.

Действительно, из правила квантования боровских орбит:

$$Mvr = nh \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

следует, что минимально возможный радиус орбиты для тела массой M будет соответствовать квантовому числу $n = 1$ и скорости вращения $v = c$. Его обозначают λ_c и называют *комптоновским радиусом* тела.

$$\lambda_c = \frac{h}{Mc}. \quad (2.2)$$

Возьмем такое значение M , при котором комптоновский радиус тела равен его гравитационному радиусу:

$$M = \sqrt{\frac{hc}{G}} \sim 10^{-8} \text{ кг}. \quad (2.3)$$

Величина M называется *фундаментальной* или *планковской массой*. Выражение для *фундаментальной (планковской) длины* имеет вид:

$$L = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} \sim 10^{-35} \text{ м}. \quad (2.4)$$

Фундаментальное (планковское) время определим как L/c

$$T = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} \sim 10^{-44} \text{ с}. \quad (2.5)$$

Фундаментальная длина определяет минимальный размер пространства, из которого излучение выйти наружу не может, а вещество не может войти внутрь. Это означает, что при дроблении пространства на области радиусом L оно перестает быть *континуальным*. Его свойства коренным образом изменяются. В масштабах, меньших, чем L , пространство становится дискретным или квантованным. Точно так же время становится дискретным или квантованным, в масштабах, меньших, чем T . Величины L и T являются, соответственно, длиной кванта пространства и длительностью кванта времени.

Нарушение привычных свойств пространства в микромире в масштабах, меньших фундаментальной длины, приводит к мысли, что в столь малых масштабах может измениться и количество независимых координат, необходимых для описания движения частицы. Можно

предположить, что какие-то точки трехмерного пространства вблизи границ микромира оказываются четырехмерными сферами. Чтобы обнаружить четвертое пространственное измерение экспериментально, нужно проникнуть в область пространства размером порядка 10^{-35} м. Современные ускорители заряженных частиц имеют разрешающую способность лишь около 10^{-18} м.

Проблема состоит в том, что, вследствие волновых свойств частиц, чем в меньшей области пространства мы хотим их локализовать, тем большей энергией они должны обладать. Из *соотношения неопределенностей* Гейзенберга следует, что для попадания в область

$\sim 10^{-35}$ м частица массой меньше фундаментальной массы (1.3), т. е. любая известная элементарная частица должна двигаться со скоростью, превышающей скорость света в вакууме, что невозможно. Частица же фундаментальной массы M для этого должна иметь *фундаментальную энергию*

$$E = Mc^2 = \sqrt{\frac{\hbar c^2}{a}} \sim 10^9 \text{ Дж} \sim 10^{19} \text{ ГэВ}. \quad (2.6)$$

Такой энергии соответствует *фундаментальная температура*

$$\theta = \frac{E}{k} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\hbar c^2}{a}} \sim 10^{32} \text{ К}. \quad (2.7)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана. Такие температуры и такие энергии частиц имели место на начальном этапе существования нашей Вселенной, в первые мгновения после Большого взрыва. Теперь они недостижимы и мы никогда не сможем проникнуть в четвертое пространственное измерение.

2.1.3. Темная материя и темная энергия

Тёмная материя в астрономии и космологии – форма материи, которая не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним. Это свойство данной формы вещества делает невозможным её прямое наблюдение. Однако возможно обнаружить присутствие тёмной материи по создаваемым ею гравитационным эффектам.

Обнаружение природы тёмной материи поможет решить проблему скрытой массы, которая, в частности, заключается в аномально высокой скорости вращения внешних областей галактик.

Представление о скрытой массе (синоним принятого в настоящее время термина «темная материя») было введено в космологию швейцарским астрофизиком Ф. Цвики еще в начале 30-х годов прошлого века. Цвики изучал динамику галактик в одном из самых крупных

скоплений Кома (Волосы Вероники). Галактики в этом скоплении заполняют объем, близкий к сплюснутой сфере и движутся по эллиптическим орбитам с большим эксцентриситетом. Средние скорости такого движения порядка 2000 км/с. Цвики пришел к выводу, что при таких скоростях галактик удержать их в наблюдаемом объеме скопления можно лишь при условии, что полная масса скопления в 10 раз больше суммарной массы составляющих его галактик. Последующие наблюдения ротационных скоростей различных галактик только укрепили этот вывод.

Рассмотрим хорошо поддающуюся простому анализу задачу о движении малой галактики-спутника в гравитационном поле крупной галактики. Многие крупные галактики имеют по несколько малых галактик спутников. У нашей Галактики есть 7 карликовых эллиптических галактик спутников и неправильные галактики-спутники Большое и Малое Магеллановы Облака. Из второго закона Ньютона для галактики-спутника найдем:

$$\frac{Mv^2}{2} = G \frac{MM_g}{r},$$

где M_g – масса материи внутри галактики радиусом r , отсюда для скорости вращения получим

$$v(r) = \sqrt{\frac{GM_g}{r}}. \quad (2.8)$$

Ротационная скорость $v(r)$ может быть, в частности, определена путем измерения доплеровского смещения в спектре излучения соответствующих галактик-спутников. Поведение экспериментально измеренных ротационных кривых спиральных галактик не соответствует уменьшению $v(r)$ с ростом радиуса. Постоянство $v(r)$ при больших значениях радиуса означает, что масса Mg увеличивается с ростом радиуса: $Mg \sim r$. Отсюда можно сделать вывод: масса центральной галактики не ограничивается той, что лежит внутри видимого на фотографиях объема, а распределена по гораздо большему объему. В отличие от звезд эта дополнительная масса не излучает света (невидима на фотографиях), но создает значительную силу тяготения, добавочную к силе тяготения видимых звезд. Так возникло представление о «скрытых массах».

Более точно, на основе этого наблюдения было постулировано существование квазисферического гало темной материи, окружающего галактику и ответственного за неубывающее поведение ротационных кривых. Модельные вычисления, выполненные для Млечного пути, с помощью которых удалось воспроизвести ротационные кривые, приняв во внимание существование гало, подтверждают, что значительная часть массы находится именно в гало.

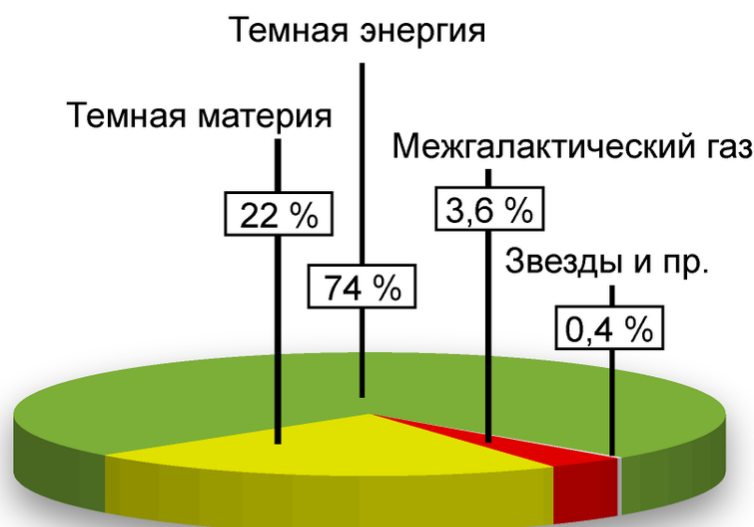


Рис. 2.3. Состав Вселенной

Дополнительные свидетельства в пользу существования темной материи найдены и для эллиптических галактик. Они связаны с известным соотношением Тули-Фишера между массой и светимостью. Для эллиптических галактик отношение массы к светимости примерно на два порядка больше, чем у Солнца, которое является характерным примером средней звезды. Такое большое значение обычно связывают с существованием темной материи.

Наряду с проблемой темной массы существует проблема *темной энергии*. Она связана с важнейшей проблемой космологии: является ли существующее ныне расширение Вселенной ее постоянным свойством или оно сменится в будущем сжатием? Все зависит от плотности Вселенной. Если она превышает $D_c \sim 10^{-26}$ кг/м³, то неизбежно должно наступить сжатие. Наблюдаемое значение средней плотности светящейся материи составляет лишь 1 % от D_c , и, тем не менее, данные астрономических наблюдений говорят о том, что кривизна Вселенной близка к нулю, т. е. ее фактическая плотность близка к D_c . Получается, что кроме темной барионной материи и темной небарионной материи, совокупное количество которых в десятки раз превышает количество светящейся материи, большая часть материи во Вселенной содержится в виде темной энергии. Интерпретация данных по анизотропии реликтового излучения дает следующее распределение плотности материи во Вселенной: на долю видимой барионной материи приходится лишь 4 %, на долю темной материи – 22 %, а на долю темной энергии – 74 %. Таким образом, мы еще почти ничего не знаем о природе и свойствах основной части материи в нашей Вселенной.

2.1.4. Антропный принцип Вселенной

В древности человек был центром мира, вся Вселенная была создана и вращалась вокруг него. Наука превратила нас в ничтожную песчинку, затерянную в пустоте Космоса. Но в последние годы эти две диаметрально противоположные картины мира причудливым образом соединились в концепции, которая получила название «антропный принцип».

В день своей смерти, 24 мая 1543 года, разбитый параличом Николай Коперник увидел только что вышедший из печати главный труд своей жизни - трактат «О вращениях небесных сфер». С этой книги началось изгнание человечества из центра мира, где Земля уступила свое место Солнцу. Через полвека великий фантазер Джордано Бруно поставил под вопрос и центральное положение Солнца, до смерти — увы, своей собственной — напугав общество идеями о множественности обитаемых миров. И вот, четыре столетия спустя, мы живем на третьей из восьми планет у рядового светила на окраине огромной Галактики. В ней 400 миллиардов звезд, еще больше вокруг нее других галактик, и это лишь крошечная часть Вселенной. А в последнее время космологи всерьез заговорили о множественности вселенных. Этот последовательный отход от представления об особом месте человечества во Вселенной в конце XX века стали называть принципом Коперника. Раз за разом он подтверждался наблюдениями, но все равно вызывал внутренний протест, ведь человеку свойственно чувствовать себя центром мира.

В 1973 году, когда отмечалось 500 лет со дня рождения Коперника, в Кракове состоялась внеочередная ассамблея Международного астрономического союза, на которую съехались сотни исследователей со всего света. Прибыл туда и молодой астрофизик Брэндон Картер. Тяготясь, как он позже писал, «непомерным преклонением перед принципом Коперника», Картер внес своим докладом диссонанс в юбилейные славословия. «Наше положение во Вселенной, - утверждал он, - с необходимостью является привилегированным, по крайней мере в той степени, чтобы допускать наше существование». Если случайно выбрать точку во Вселенной, мы, скорее всего, попадем куда-нибудь в межгалактическое пространство, где не будет ни звезд, ни планет, а лишь чрезвычайно разреженный газ - несколько атомов на кубометр. Но и внутри Галактики человек не мог появиться ни в межзвездном пространстве, ни у короткоживущих звезд-гигантов, ни на газовых планетах, ни на безатмосферных астероидах. Большая часть Вселенной совершенно непригодна для жизни, так что место нашего обитания далеко не рядовое. Это утверждение, которое Картер назвал слабым антропным (от греческого *ánthrōpos* - «человек») принципом, по сути,

было лишь советом не слишком заигрывать с принципом Коперника и учитывать, что особенности нашего местоположения во Вселенной сказываются на результатах наблюдений.

Но в том же докладе был сформулирован и сильный антропный принцип, полемика вокруг которого продолжается по сей день. Он гласил: «Вселенная должна быть такой, чтобы на определенной стадии допускать появление наблюдателя». Многие услышали в слове «должна» утверждение о некой цели существования Вселенной, и тем самым формулировка обрела метафизическое, можно даже сказать религиозное, звучание: Вселенная создана для человека, а значит, он, несмотря на скромность своих размеров, необходим для огромного Космоса. Правда, сам Картер не имел в виду ничего подобного: речь лишь о том, пояснял он в том же докладе, что наши теории должны учитывать факт существования во Вселенной мыслящих наблюдателей. Перефразируя Декарта, он говорил: «Я мыслю, следовательно, Вселенная это допускает».

Литература к разделу 2.1.

1. Новиков, И. Д. Эволюция Вселенной / И. Д. Новиков. – М.: Наука, 1990.
2. Хокинг, С. От Большого взрыва до черных дыр: краткая история времени / С. Хокинг. – М.: Мир, 1990.
3. Смольников, А. А. Темная материя во Вселенной / А. А. Смольников // Природа, – 2001. – № 7. – С. 10–19.
4. Lorenz, E. N. Deterministic nonperiodic flow / E. N. Lorenz // J. Atmos. Sci. – 1963. – V. 20. – P. 130–144.

2.2. Порядок и Хаос

2.2.1. Детерминированные и недетерминированные процессы

Под порядком понимается такое состояние системы, при котором мы располагаем точным знанием относительно расположения и движения входящих в нее объектов.

Под хаосом понимается полностью дезорганизованное состояние системы.

В реальных условиях мы имеем дело с промежуточной ситуацией, характеризующейся некоторой степенью упорядоченности системы.

Термином *chaos* древние греки обозначали первородное, неорганизованное состояние Вселенной, где все было перемешано: свет и тьма, добро и зло,... Но при этом они считали, что в этом первородном хаосе существовала способность к развитию, к разворачиванию со временем заложенного в него порядка. Поэтому современные словари ударений русского языка рекомендуют использовать два ударения: *ха́ос* – для обозначения абсолютного беспорядка и *ха́ос* – для обозначения такого беспорядка, в котором в потенции содержится способность к саморазвитию.

Состояние системы не является чем-то застывшим. Переход системы из одного состояния в другое состояние называется процессом. Процессы бывают разными.

Под случайными процессами понимаются абсолютно непредсказуемые процессы. Им противостоят детерминированные процессы – процессы, протекание которых можно в точности предсказать. Между ними находятся стохастические процессы – процессы, протекание которых можно предсказать с какой-то вероятностью. Иначе говоря, это вероятностные или предугадываемые с какой-то вероятностью процессы.

Стохастичность (греч. *στόχος* — цель или предположение) означает случайность. Стохастический процесс — это процесс, поведение которого не является детерминированным, и последующее состояние такой системы описывается как величинами, которые могут быть предсказаны, так и случайными. Однако, любое развитие процесса во времени (неважно, детерминированное или вероятностное) при анализе в терминах вероятностей будет стохастическим процессом (иными словами, все процессы, имеющие развитие во времени, с точки зрения теории вероятностей, стохастические).

2.2.2. Энтропия

Энтропия – от др. греческого *ἐντροπία* - поворот, превращение. Понятие энтропии впервые было введено в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии. Энтропия широко

применяется и в других областях науки: в статистической физике как мера вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния; в теории информации - мера неопределенности какого-либо опыта (испытания), который может иметь разные исходы, а значит и количество информации. Все эти трактовки энтропии имеют глубокую внутреннюю связь.

Энтропия - это функция состояния, то есть любому состоянию можно сопоставить вполне определенное (с точностью до константы - эта неопределенность убирается по договоренности, что при абсолютном нуле энтропия тоже равна нулю) значение энтропии.

Пусть имеется некоторая система, состоящая из $N = 1$ частицы, могущей находиться в $W = 2$ доступных ей ячейках пространства, например, в ящике с перегородкой, в которой имеется отверстие (рис. 2.3, а). Очевидно, если число частиц в таком ящике увеличить до $N = 2$, то число возможных состояний системы $W = 4$ (рис. 2.3, б). При $N = 3$ $W = 8$ (рис. 2.4, в).

Статистическим весом W системы называется величина, равная числу доступных состояний всех частиц, входящих в эту систему или, иначе, числу микросостояний системы.

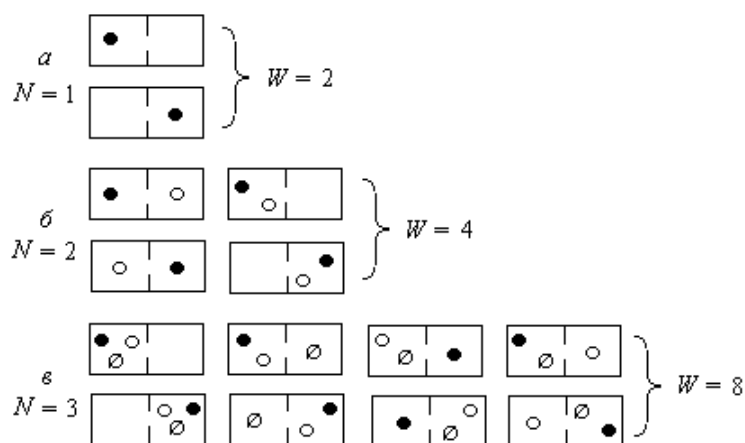


Рис. 2.4. К понятиям статистический вес и энтропия системы

Из рис. 2.4 видно, что *статистический вес системы равен произведению статистических весов всех подсистем, на которые можно разбить эту систему:*

$$W = \prod_{i=1}^N W_i. \quad (2.9)$$

Например, если в случае рис. 2.4, в: $N = N_1 + N_2 = 1 + 2$, то $W = W_1 \cdot W_2 = 2 \cdot 4 = 8$. Если $N = N_1 + N_2 + N_3 = 1 + 1 + 1$, то $W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$. В системе с двумя пространственными ячейками $W = 2^n$. В системе, состоящей из n ячеек, N частиц имеют статистический вес $W = N^n$.

Вместо статистического веса часто бывает удобно пользоваться другой физической величиной – *энтропией* системы.

Под энтропией S системы понимают логарифмическую меру ее статистического веса:

$$S = k \ln W. \quad (2.10)$$

Выражение (2.10) удобнее, чем (2.9), в том отношении, что энтропия системы равна сумме энтропий всех своих подсистем:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i. \quad (2.11)$$

так как логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей.

Такой подход к понятию «энтропия» был предложен в 1872 г. австрийским физиком Л. Больцманом, поэтому выражение (2.10) называется формулой Больцмана для энтропии. Здесь $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана. Исторически же это понятие впервые было введено немецким физиком Р. Клаузиусом в 1865 г. для термодинамических процессов.



Людвиг Больцман
(1844–1906)



Рудольф Юлиус Эммануэль Клаузиус
(1822–1888)

Одним из фундаментальных принципов природы является принцип возрастания энтропии: в изолированной системе энтропия не изменяется при обратимых процессах и возрастает при необратимых процессах. Обратимыми процессами называются такие процессы, при которых систему можно вернуть в исходное состояние через те же самые промежуточные состояния. Реальные процессы, как правило, необратимы, так как вследствие трения, излучения, теплопередачи и т. п. сопровождаются диссипацией энергии (от лат. *dissipatio* – рассеяние). Действительно, в изолированной системе, при наличии диссипативных процессов, происходит хаотическое перераспределение частиц по всем возможным состояниям, т. е. система становится менее упорядоченной, поэтому ее статистический вес и энтропия возрастают, стремясь к

максимально возможному значению, которое достигается в равновесном состоянии системы.

Очевидно также, что *при температуре, равной абсолютному нулю*, когда всякое движение в системе прекращается, и, стало быть, она характеризуется единственным доступным ей состоянием ($W = 1$), *энтропия системы обращается в нуль*:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0. \quad (2.12)$$

Выражение (2.12) называется *законом Нернста* (в честь немецкого физика и химика В. Нернста), или *третьим началом термодинамики*.

Из приведенных рассуждений ясно, что физический смысл *энтропии* состоит в том, что она есть мера разупорядочения системы или мера ее близости к хаосу.

Понятно, что в *открытых системах*, взаимодействующих с другими системами или отдельными телами, *энтропия может и понижаться*. Тогда в системе имеет место упорядочение. Абсолютного хаоса (по древнегреческой мифологии *chaos* – беспредельное, бесформенное первородное состояние мира) в ограниченной части Вселенной не существует, так как, согласно (2.9), (2.10), для $S \rightarrow \infty$ требуется, чтобы число частиц в системе $N \rightarrow \infty$.

2.2.3. Информация

Степень хаоса в системе можно измерить, найдя ее энтропию. А как измерить степень порядка? Порядок предполагает некоторое знание о системе или информацию. При этом надо понимать, что этими знаниями или информацией можно с кем-то поделиться, кому-то передать, иначе от них нет никакой пользы.

Под информацией (от лат. *informatio* – разъяснение, изложение) понимают любые сведения, передаваемые с помощью каких-либо сигналов или знаков от одного объекта к другому объекту. В качестве объектов могут выступать люди, любые живые организмы или даже отдельные клетки, а также технические устройства. Как отмечал академик В. М. Глушков: «Информация существует, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собой какую-то информацию». Таким образом, *любое отклонение от хаоса в сторону структурирования и упорядочения системы повышает информацию о ней*. Поскольку энтропия системы при этом уменьшается, то австрийский физик Э. Шредингер (1887–1961) предложил считать информацию величиной, равной энтропии со знаком «минус». Французский физик и специалист по теории информации Л. Бриллюэн (1889 – 1969) назвал информацию *негэнтропией*. Таким

образом, приращение информации равно убыли энтропии:

$$\Delta I \sim -\Delta S. \quad (2.13)$$

Всякое сообщение, закодированное какими-либо символами, содержит в себе неопределенность, пропорциональную числу возможных сочетаний из этого набора символов по их позициям, т. е. может быть охарактеризована некоторым *статистическим весом сообщения*. Тогда, при условии равновероятности встречаемости символов, энтропия сообщения может быть представлена в виде

$$S = k \log_2 p, \quad p = 1/W, \quad (2.14)$$

где k – коэффициент пропорциональности, который в теории информации полагается равным единице ($k = 1$), а p – вероятность появления символов. С учетом (2.6) последнее выражение можно переписать в виде

$$I = -\log_2 p. \quad (2.15)$$

Формула (2.15) была получена одним из основателей теории информации американским инженером и математиком К. Шенноном. Логарифм с основанием 2 в (2.14), (2.15) взят из тех соображений, что технически удобнее использовать двоичные коды, в которых, например, используются символы 1 и 0. Тогда информация сообщения, связанного с выборкой одного из двух возможных вариантов (например, при подбрасывании монеты, когда $p = 1/2$) $I = -\log_2 \left(\frac{1}{2}\right) = 1$ бит (от англ. *one binary unit* – одна двоичная единица [информации]). Переходя в (2.8) к натуральным логарифмам, получаем

$$I = -\frac{1}{\ln 2} p. \quad (2.16)$$

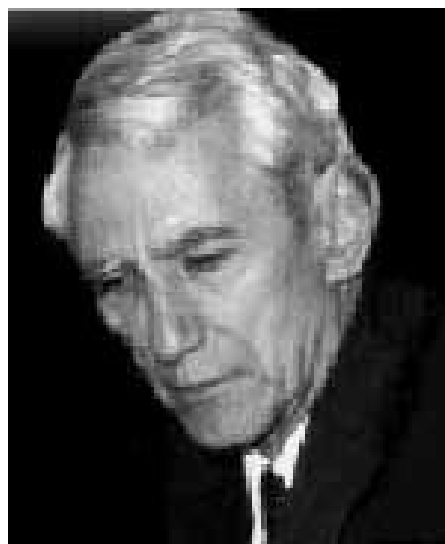
В смысловом (*семантическом*) аспекте *энтропия характеризует степень деградации энергии в системе, связанную с ее рассеянием*: энергия высокого качества, за счет которой может производиться работа (например, потенциальная энергия поднятого груза или направленного потока фотонов в солнечном свете), превращается в энергию более низкого качества – тепловую энергию хаотического теплового движения частиц. Тогда *информация характеризует уровень качества энергии в системе*. Из (2.10), (2.13), (2.16) следует, что одному биту соответствует изменение энтропии, численно равное $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. Таким образом, для заметного вклада в уменьшение энтропии системы требуется огромное количество информации, выраженной в битах.

Как уже говорилось, в вычислительных устройствах используется

двоичная система счисления. Известно, что количество оборудования, необходимого для изображения одного числа в системе счисления с основанием n , имеет минимум при $n = e \approx 2,718$, поэтому 3-символьный код был бы более экономным. Вместе с тем, при одинаковой точности представления информации количество двухпозиционных элементов, необходимых для использования системы счисления с основанием $n > 2$, в общем случае превышает количество тех же элементов при использовании двоичной системы счисления, за исключением $n = 2^k$ ($k = 1, 2, 3, \dots$). С другой стороны, при $n = 2$ скорость вычислений (точнее, число сложений в единицу времени) минимальна. Поэтому обычно в *машинных кодах* используются 16-разрядные слова ($k = 4$). При этом 8 двоичных разрядов (8 бит) составляют 1 байт.



Леон Бриллюэн
(1889-1969)



Клод Шеннон
(1916-2001)

В наиболее простых, *телеграфных кодах*, предназначенных для передачи лишь словесных сообщений, используется предложенный французским изобретателем Ж. Бодо 5-разрядный алфавит на основе двух символов. Число возможных выборок объема $n = 5$ из совокупности $N = 2$ символов составляет $N^n = 2^5 = 32$. В русском языке это обеспечивает передачу всех букв алфавита, кроме буквы ё. Однако любой сбой на входе канала связи или в процессе передачи сообщения приводит к ошибкам на выходе. Поэтому, с целью помехоустойчивости кодирования, помимо смысловой оценки сообщений в ответственных случаях используется дублирование передаваемой информации.

Природа поступила мудрее. В генетическом коде используются 3-буквенные слова ($n = 3$) — *кодоны* — на основе 4-символьного алфавита ($N = 4$), образованного следующими нуклеотидами: А — аденин, Г — гуанин, У — урацил, Ц — цитозин. Каждый кодон кодирует одну

аминокислоту, входящую в состав белка. Число выборов в этом случае составляет $N^n = 4^3 = 64$, а число возможных сочетаний с повторением

$$C_{N+n-1}^n = C_{4+3-1}^3 = \frac{6!}{3!3!} = 20.$$

Именно 20 важнейших аминокислот, из более чем 150 природных, входят в состав клеток всех организмов, живущих на Земле. Явная избыточность генетического кода обеспечивает его высокую помехоустойчивость к мутациям.

Участок ДНК, содержащий в виде последовательности нуклеотидов информацию об одном белке, – *ген* – может быть представлен разным набором кодонов, образуя *аллели* – разновидности одного и того же гена. Наличие в популяциях нескольких аллелей каждого гена приводит к полиморфизму и комбинативной изменчивости при половом размножении, т. е. служит исходным материалом для эволюции. Кроме того, часть кодонов используется в качестве служебных команд типа «начать», «пропустить», «закончить» (процесс трансляции) при синтезе конкретного белка.

Отметим, что формула (2.16) определяет лишь *количество* передаваемой информации, не позволяя оценить ее *ценность*. Два сообщения, содержащие одинаковое число бит информации, могут иметь совершенно разную значимость. Более того, эта значимость может (или не может) быть оценена лишь теми объектами, которые участвуют в обмене информацией.

2.2.4. Шумовые процессы

По своей природе шумы делятся на различные виды: акустические шумы (шум городского транспорта, шум ветра, дождя, листвы, морского прибоя), электромагнитные шумы (шумы, оказывающие влияние на работу радиоэлектронной аппаратуры), оптические шумы (шумы в фото- и кинокамерах), тепловые шумы (шумы, связанные с хаотическим движением частиц). Независимо от своей природы, *шум – это колебания с неопределенными значениями амплитуды, частоты и фазы*.

Любой шумовой сигнал можно разложить в *Фурье-спектр*, т. е. представить в виде набора гармоник – синусоидальных колебаний различной частоты и амплитуды. Большинство природных шумов характеризуется степенным законом распределения мощности гармоник P по частоте f :

$$P \sim \frac{1}{f^\beta}. \quad (2.17)$$

В зависимости от величины показателя степени β в выражении

(2.17) шумы делятся на:

- белый шум ($\beta = 0$);
- коричневый шум ($\beta = 2$);
- розовый шум ($0 < \beta < 2$), в частности фликкер-шум ($\beta = 1$);
- черный шум ($\beta > 2$).

Графики соответствующих шумовых колебаний показаны на рис. 2.5, а-г.

К частотно-независимым ($\beta = 0$) или белым шумам относятся электронный и фотонный дробовые шумы, тепловые шумы в электронных приборах, а также всякого рода шипящие звуки, издаваемые человеком и животными. Название «белый» здесь используется по аналогии с оптикой, где, как известно, белый свет можно разложить в спектр на составляющие всех цветов видимого света разной частоты, но равной интенсивности.

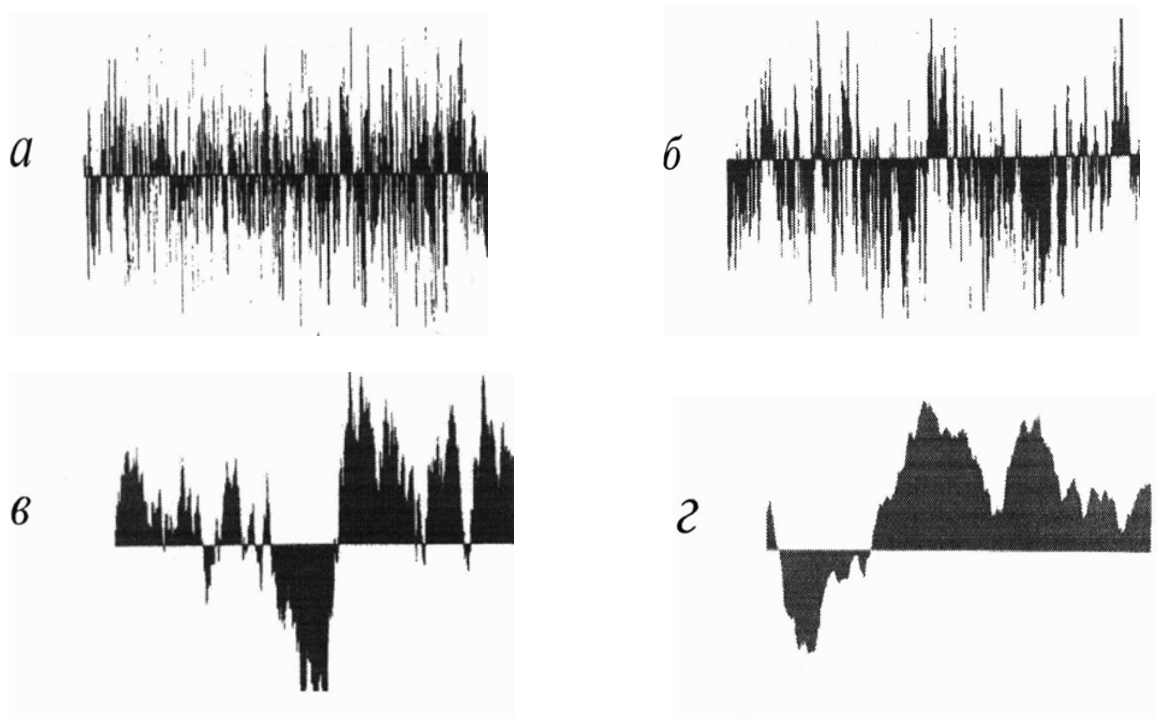


Рис. 2.5. Временные диаграммы шумов: белый шум (а); розовый шум с $1/f$ -спектром (фликкер-шум), б); коричневый шум (в); черный шум с $1/f^3$ -спектром (г)

Коричневый шум ($\beta = 2$) соответствует проекции броуновского движения на одно пространственное измерение. Фамилия открывшего это явление английского ботаника Р. Брауна (Brown) переводится на русский язык как «коричневый». Отсюда и название.

Важной особенностью любого шумового процесса, подчиняющегося степенному закону, является его самоподобие во времени. При изменении масштаба вдоль оси частот в r раз, масштаб вдоль оси времени изменяется в $1/r^\beta$ раз, а амплитуда в $r^{-\beta/2}$ раз. Поскольку мощность сигнала пропорциональна квадрату амплитуды, то она

изменяется в $1/r^\beta$ раз. Следовательно, фликкер-шум ($\beta = 1$) отличается от прочих шумов тем замечательным свойством, что при перемасштабировании по частоте форма его спектра не изменяется.

Фликкер-шум часто встречается в различных электронных, в том числе полупроводниковых, устройствах. Это шум мерцания (от англ. flicker – мерцать) экранов осциллографов, кинескопов, мониторов, дисплеев и т.п.

Закономерности черного шума ($\beta > 2$) присущи многим природным и техническим катастрофам, таким как разливы рек, засухи, аварии на транспорте и в производстве. Шумы между белым и коричневым естественно назвать розовыми. Розовые шумы встречаются во многих физических системах и имеют удивительное отношение к эстетическому восприятию в искусстве.

Большие неприятности при эксплуатации различных электронных приборов доставляют *тепловые* шумы, являющиеся разновидностью белого шума. Они возникают вследствие хаотического (теплового) движения носителей тока.

2.3. Синергетика

2.3.1. От существующего к возникающему

В классической физике господствовало убеждение, что материи свойственна тенденция к равновесию, т. е. к равномерному перераспределению энергии в системе и ее хаотизации. Во второй половине XX в. стало ясно, что в природе действуют также законы, приводящие к нарастанию сложности и упорядоченности. Такая ситуация возникает в открытых неравновесных системах.

Наука, изучающая закономерности спонтанных переходов открытых не равновесных систем от менее сложных к более сложным упорядоченным формам организации, получила название *теории самоорганизации* или *синергетики*.

Синергетика (от греч. synergetikos - совместный, согласованно действующий) - научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологической, физико-химической и др.) благодаря интенсивному (потокосому) обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях. В таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности, т. е. уменьшается энтропия (т. н. самоорганизация).



Илья Романович Пригожин
(1913–2003)



Борис Павлович Белоусов
(1893–1970)

Основа синергетики - термодинамика неравновесных процессов, теория случайных процессов, теория нелинейных колебаний и волн. Значительный вклад в создание основ синергетики внесли И. Пригожин

(Бельгия), А. Тьюринг (Великобритания), Б. П. Белоусов (Россия), Г. Хакен (Германия).

Бельгийский физико-химик русского происхождения Илья Пригожин разработал в 1947 г. основы термодинамики открытых систем (Нобелевская премия по химии 1977 г.). Большой известностью во всем мире пользуется книга И. Пригожина «От существующего к возникающему». (В русском переводе вышла в 1985 г.). Советский химик Б. П. Белоусов открыл в 1951 г. самоорганизацию в химических реакциях (реакция Белоусова – Жаботинского). Английский математик А. Тьюринг построил в 1952 г. математическую модель морфогенеза. Он показал, как может возникать чередование соединительных тканей в живых организмах на примере образования областей повышенной концентрации одного из веществ в процессе взаимодействия двух веществ, одно из которых каталитически активно, а другое является ингибитором и обладает большей скоростью диффузии. Немецкий физик Герман Хакен в 70-х гг. прошлого века исследовал процессы самоорганизации в лазерной плазме. Именно Хакен является автором термина «синергетика».

Новизна синергетического подхода состоит в следующем:

- хаос не только разрушителен, но и созидателен;
- для сложных систем, как правило, существует несколько вариантов развития;
- развитие осуществляется через случайный выбор одной из нескольких возможностей дальнейшей эволюции. Следовательно, случайность есть необходимый элемент эволюции.

Многие синергетические идеи родились из биологии. Биологическая эволюция идет по схеме: изменчивость – наследственность – отбор. Российский ученый Н. Н. Моисеев предложил обобщить эту триаду на все без исключения эволюционные процессы. Так возник основной принцип синергетики – *принцип универсального эволюционизма: процессы самоорганизации в открытых неравновесных системах не зависят от их природы, а носят универсальный характер.*

2.3.2. Виды самоорганизации

Рассмотрим кратко известные виды самоорганизации с точки зрения современной классификации.

Диссипативная самоорганизация (классический синергетический подход). При таком подходе дается следующее определение самоорганизации:

самоорганизация – это процесс упорядочения (пространственного, временного или пространственно-временного) в открытой системе за счет согласованного взаимодействия множества элементов ее составляющих.

Синергетическая самоорганизующаяся система должна обладать

следующими характеристиками:

- она должна быть открытой, т. е. должен присутствовать обмен энергией или веществом с окружающей средой;
- она должна содержать большое число элементов (подсистем);
- должен существовать стационарный режим системы, при котором ее элементы взаимодействуют хаотически (некогерентно).

Процессу самоорганизации в ней присущи следующие признаки:

- интенсивный хаотический обмен энергией с окружающей средой;
- макроскопическое поведение системы описывается одним или несколькими управляющими параметрами;
- существует критическое значение управляющего параметра, при котором система спонтанно переходит в новое упорядоченное состояние;
- новое состояние возникает благодаря согласованному (когерентному) действию элементов системы;
- новое состояние существует при безостановочном потоке энергии или вещества в систему. При увеличении потока энергии система проходит ряд критических переходов, при которых структура усложняется вплоть до возникновения турбулентного хаоса.

Примерами такой самоорганизации являются:

- лазерная среда (пространственное упорядочение);
- конвекция Бенара (пространственное упорядочение);
- реакция Белоусова – Жаботинского (пространственно-временное упорядочение);
- экономические циклы (временное упорядочение).

Консервативная самоорганизация В 1987 году Нобелевский лауреат Жан-Мари Лен (Франция) — основатель супрамолекулярной химии ввёл термины «самоорганизация» и «самосборка», вследствие необходимости описания явлений упорядочения в системах высокомолекулярных соединений при равновесных условиях, в частности образование ДНК.

Супрамолекулярная химия (от лат. *supra* — над) — это междисциплинарная область науки, изучающая химические, физические и биологические аспекты более сложных, чем молекулы, химических систем. В рамках этой новой науки оказалось возможным исследовать строение и свойства высокомолекулярных соединений (в частности ДНК), фуллеритов и других наноструктур, процессы кристаллизации. В отличие от процессов синергетической самоорганизации, такие явления происходят вблизи термодинамического равновесия, однако в виде самосборки. Таким образом, равновесные фазовые переходы, например кристаллизация, также представляют собой процесссамоорганизации.

В отличие от самоорганизации сильно неравновесных систем, такую

самоорганизацию называют *консервативной самоорганизацией*.

Континуальная самоорганизация (концепция эволюционного катализа, разработанная А. П. Руденко, является альтернативной концепцией самоорганизации для биологических систем. В отличие от когерентной самоорганизации в диссипативных системах с большим числом элементов (макросистем), рассматривается континуальная самоорганизация для индивидуальных (микро-) систем. В рамках данного подхода определяется, что самоорганизация как саморазвитие системы происходит за счёт внутренней полезной работы против равновесия. Прогрессивная эволюция с естественным отбором возможна только как саморазвитие континуальной самоорганизации индивидуальных систем

2.3.3. Примеры самоорганизации в неживой природе

Реакция Белоусова – Жаботинского. В 1951 г. советский химик Б. П. Белоусов открыл удивительную реакцию, получившую название «химические часы». В пробирку наливалось небольшое количество лимонной кислоты, бромата калия и сульфата церия (катализатор). И начиналось небольшое чудо: бесцветный вначале раствор желтел, затем снова становился прозрачным, опять желтел и т. д. Колебания цвета происходили с периодом в несколько десятков секунд, причем этот период можно было регулировать, изменяя концентрации исходных реагентов и температуру раствора. Сотрудник Белоусова А. П. Сафронов посоветовал добавить в раствор индикатор (ферроин), и картина стала еще более зрелищной: цвет раствора изменялся с фиолетово-красного на ярко-синий и наоборот. Очень эффектно выглядит эта реакция, если ее проводить в широком сосуде, например чашке Петри, капнув одним из реагентов на поверхность раствора других компонентов. Тогда реакция начинается в одной точке – ведущем центре – и постепенно, в виде кольцевых или спиральных автоволн, распространяется к краям сосуда (рис. 2.6).

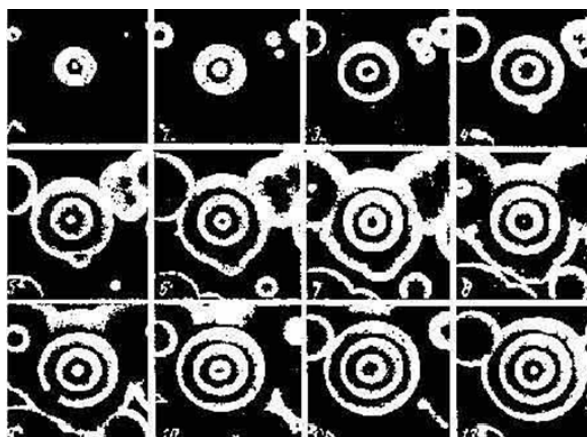


Рис. 2.6. Автоволны в реакции Белоусова – Жаботинского. Интервалы между кадрами составляют 30 с. (Заикин А.Н., Жаботинский А.М., 1970)

Механизм поддержания колебаний в такой окислительно-восстановительной автокаталитической системе теперь понятен. Имеются две подсистемы с разными временами релаксации: ионы Ce^{3+} (бесцветная окраска) и ионы Ce^{4+} (желтая окраска), как, например, в случае с лимонной кислотой и броматом калия. Необходимые для развития реакции вещества и энергию одна подсистема черпает из другой подсистемы по очереди.

Рост кристаллов. Откуда атомы «знают», в каком порядке им надлежит соединиться друг с другом, чтобы создать характерную для данного вещества кристаллическую решетку? Покажем это на примере двух полиморфных модификаций углерода: алмаза и графита.

По своим физическим свойствам это два совершенно разных вещества, хотя они и сложены из одинаковых атомов. Алмаз — диэлектрик, прозрачный и очень твердый. Графит, напротив, хорошо проводит электрический ток, непрозрачный и мягкий. Оказывается, все дело в том, что в кристалле алмаза атомы углерода плотно упакованы, образуя кубическую решетку, а в кристалле графита атомы образуют слоистую решетку гексагональной симметрии (рис.2.7).

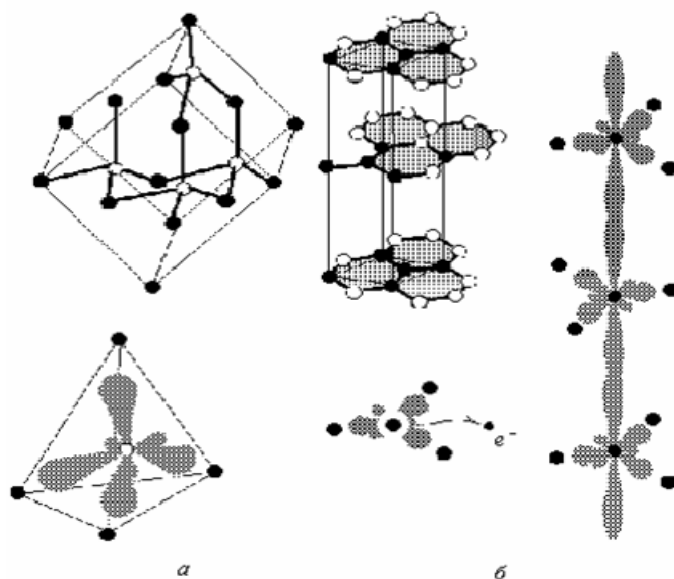


Рис. 2.7. Кристаллическая структура алмаза (а) и графита (б).
Рядом показаны атомные орбитали

В основном состоянии атом углерода имеет следующую электронную конфигурацию: $1s^2 2s^2 2p^2$. Два неспаренных валентных электрона, находящиеся в состоянии $2p$, не могут образовать четыре связи с валентными электронами соседних атомов (углерод четырехвалентен). Поэтому кристаллизация алмаза возможна лишь с участием

возбужденных атомов углерода, имеющих конфигурацию $1s^2 2s^1 2p^3$.

В алмазе все четыре связи равноценны и тетраэдрически расположены в пространстве. Как же это возможно? Ведь $2s$ - и $2p$ -орбитали отличаются друг от друга (s -орбитали имеют сферическую форму «электронных облаков», а p -орбитали – форму гантелей).

Понимание проблемы пришло в 1931 г., когда американские физико-химики Л. Полинг и Дж. Слейтер, а также, независимо от них, американский физико-химик Р. Малликен и немецкий химик Ф. Хунд пришли к выводу, что s - и p -электроны могут находиться в гибридных состояниях, промежуточных между s и p . Гибридные sp -орбитали представляют из себя гантели неправильной формы с сильно развитой одной стороной и едва заметным зачатком другой. Это обеспечивает одинаковость всех четырех связей и устойчивость тетраэдрической конфигурации из атомов углерода в кристалле алмаза.

В графите атомы углерода расположены послойно, в виде структуры из шестиугольных ячеек, причем имеются атомы двух сортов: одни расположены на одной линии, другие – напротив центров ячеек соседнего слоя. Для первой категории атомов характерно образование $p-p$ -связей между слоями. Три валентных электрона атомов второй категории образуют расходящиеся под углом 120° связи посредством sp -гибридных орбиталей с соседними атомами, а четвертый валентный электрон отрывается от атома и становится свободным носителем заряда (металлическая связь).

В условиях неоднородного роста, особенно если он происходит очень быстро, кристаллы редко вырастают совершенными. Чаще всего они образуют при этом *дендриты* – древовидные сростки (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Слева: сросток кварца с хлоритом и эпидонтом. Справа: Морозный узор дендритной формы из кристалликов льда на потолке погреба.

2.3.4. Примеры самоорганизации в живой природе

Самоорганизация в колониях грибов, социальных амёб и бактерий. Многие плесенеобразующие грибы характеризуются колониальным ростом особи. У одних грибов чаще встречаются зональные структуры, у других имеется тенденция к образованию прерывистых кольцевых зон радиально- симметричного типа или даже в виде лопастей. Причем, в зависимости от условий выращивания (вид субстрата, температура, влажность, световой режим) симметрия колонии может изменяться (рис. 2.9).

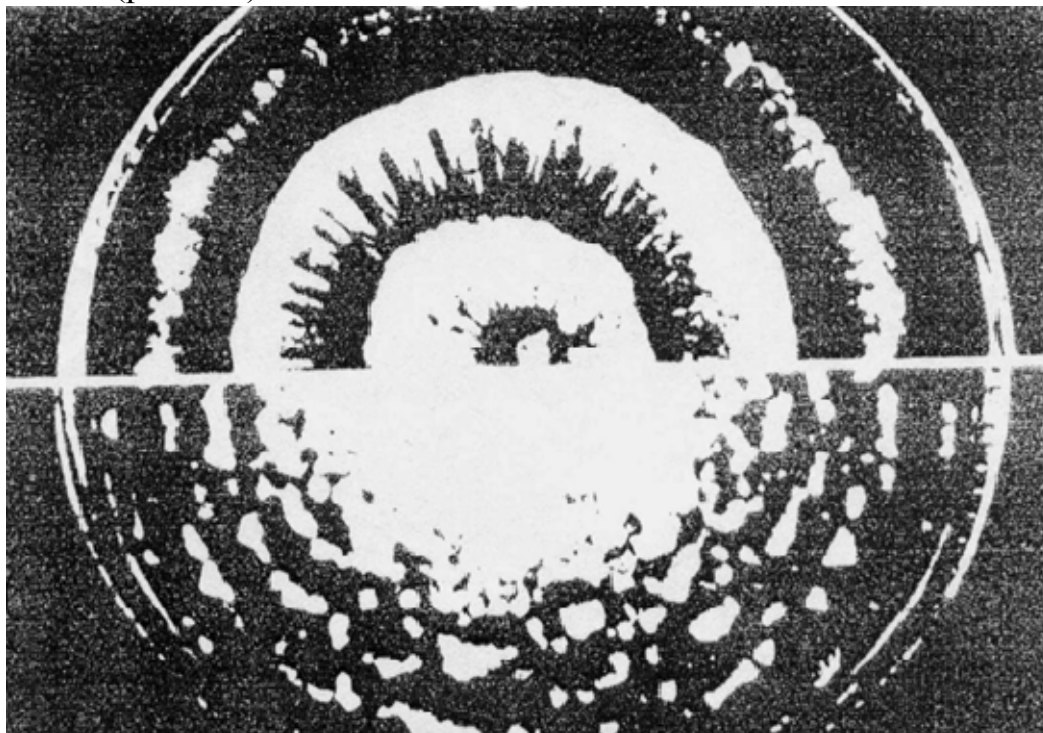


Рис. 2.9. Зональная и лопастная самоорганизация в грибах вида *Mortierella*, выращенных в разных условиях

Обычные грибы, растущие в лесу, также часто образуют колонии («ведьмины кольца»), но их форма бывает неправильной из-за неоднородностей лесного субстрата, корней деревьев, вытаптывания и уничтожения мицелия (грибницы) людьми и животными.

Самоорганизованно выросшие грибные кольца похожи на автоволны Белоусова – Жаботинского, однако, в отличие от них, не распространяются от некоторого ведущего центра, а вырастают на постоянном месте. Грибные колонии являются примером континуальной самоорганизации. Континуальный тип самоорганизации наблюдается также в колониях социальных амёб и бактерий.

2.3.5. Самоорганизация в социально-экономических системах

Экономические циклы. Наиболее распространенным типом самоорганизации, наблюдаемым в социально-экономических системах,

является колебательно-волновой тип упорядочения (диссипативная самоорганизация пространственно-временного типа). В экономической литературе для обозначения этого явления чаще всего используется термин «цикл».

Наибольший интерес у экономистов вызывают следующие циклы:

- политико-деловой цикл (4–5 лет), связанный с выборами в органы власти и приурочиванием важных экономических шагов правительства к предвыборной ситуации;

- строительный цикл (цикл Кузнеца, 15–25 лет) – цикл, выявленный американским экономистом украинского происхождения, нобелевским лауреатом С. Кузнецом, который считал, что основной его причиной являются демографические процессы, возрастная миграция населения и связанные с ней колебания в объемах жилищного строительства;

- цикл Кондратьева (45–65 лет), обусловленный сменой техники, внедрением новых технологий и развитием новых отраслей промышленности;

- цикл политического лидерства (100–150 лет), причиной которого является неравномерность экономического развития разных стран, появление новых претендентов на мировое лидерство, обострение борьбы за ресурсы, «жизненное пространство», рынки сбыта и сферы влияния.



Николай Дмитриевич Кондратьев
(1892–1938)



Саймон Кузнец
(1901–1985)

Наибольшего размаха достигает цикл Кондратьева (длинные волны Кондратьева или большие волны конъюнктуры). Вывод о существовании таких волн был сделан Н. Д. Кондратьевым в 1922 г. на основе анализа большого числа экономических показателей (индекс цен, государственные долговые обязательства, номинальная заработная плата, показатели

внешнеторгового оборота, добыча угля, золота, производство чугуна, стали и т. д.).

Циклы Кондратьева характеризуются фазой подъема и фазой спада. Во время подъема (*повышательной фазы*) экономика страны находится в состоянии подъема, возникают новые отрасли производства. Затем энергия, затраченная на борьбу за сферы влияния и имеющиеся социально-политические отношения, начинает угасать. Диссипативный процесс замедляет темпы развития, наступает фаза спада (*понижательная фаза*).

Естественно, что из-за тесной связи экономики с политикой, правом, социумом и т. д. на цикл Кондратьева накладываются другие циклы, причем не только экономические.

Использование методов синергетики в экономике – не дань моде, а насущная потребность выйти за пределы статического анализа квазистационарных состояний. Экономика может и должна стать предметом синергетического моделирования, так как экономика обладает всеми признаками самоорганизующихся систем: сложностью, открытостью, нелинейностью, диссипативностью. Более того, в экономике есть быстрые и медленные параметры. Установлено, что некоторые из медленных параметров ведут себя коллективным образом (синергетически) и могут играть роль параметров порядка при структурных перестройках системы.

Фрактальная (самоподобно дробящаяся) природа экономических циклов и стохастичность колебаний относительно тренда эволюции системы также подтверждает правомочность синергетических методов в исследовании социально-экономических систем. В целом синергетическая экономика представляет собой новое направление в объяснении и прогнозировании экономических процессов.

Литература к разделам 2.2. и 2.3.

1. Шустер, Г. Детерминированный хаос / Г. Шустер. – М.: Мир, 1988.
2. Силин, А. А. Энтропия, вероятность, информация / А. А. Силин // Вестник РАН. – 1994. – Т. 64. – № 6. – С. 490–496.
3. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая / М. Шредер. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
4. Евин, И. А. Синергетика мозга и синергетика искусства / И. А. Евин. – М.: ГЕОС, 2001.
5. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
6. Пригожин, И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. – М.: Мир, 1985.

7. Пригожин, И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Мир, 1986.
8. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980.
9. Хакен, Г. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985.
10. Климонтович, Ю. Л. Без формул о синергетике / Ю. Л. Климонтович. – Минск: Высшая школа, 1986.
11. Князев, А. А. Восемь лекций по синергетике: уч. пособие / А. А. Князев. – Саратов: Изд-во СГУ, 1996.
12. Лоскутов, А. Ю. Введение в синергетику / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. – М.: Наука, 1990.
13. Дмитриев, И. С. Симметрия в мире молекул / И. С. Дмитриев. – Л.: Химия, 1976.
14. Занг, Вэй-Бин. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / Вэй-Бин Занг. – М.: Мир, 1999.

2.4. Нанотехнологии

2.4.1. Нанотехнологии и наноматериалы

Нанотехнология - совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба;

Наноматериалы - материалы, содержащие структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками;

Наносистемная техника - полностью или частично созданные на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям.

Углерод является достаточно распространенным элементом. В твердом состоянии в природе он присутствует в виде графита и алмаза. Искусственно были созданы также такие модификации углерода, как карбин и лонсдейлит. Последний был также обнаружен в составе метеоритов. В 1985 г. при исследовании паров графита, полученных испарением лазерным лучом при длительности лазерного импульса 5 нс с поверхности вращающегося графитового диска, были обнаружено наличие кластеров (или многоатомных молекул) углерода.

При последующих исследованиях этих образований выяснилось, что наиболее стабильными из обнаруженных соединений оказались молекулы с большим четным числом атомов, в первую очередь состоящие из 60 и 70 атомов – C_{60} и C_{70} . Соединение C_{60} имеет форму усеченного икосаэдра (рис. 2.9). Такую форму имеет футбольный мяч и спроектированные американским архитектором Ричардом Бакминстером Фуллером легкие, но прочные купола для выставочных павильонов, рынков и других сооружений. По этой причине подобные молекулы были названы фуллеренами. **Фуллерены.** В настоящее время под фуллеренами понимаются углеродные молекулярные кластеры с четным, более 20, количеством атомов углерода, образующих три связи друг с другом (рис. 2.10). Они отличаются необычной кристаллографической симметрией и уникальными свойствами. Все ковалентные связи у них насыщены, поэтому отдельные молекулы между собой могут взаимодействовать только посредством слабых сил Ван-дер Ваальса. Однако последних хватает, что бы построить из сферических молекул кристаллические

структуры. Такие материалы называются *фуллеритами*. Стабильные молекулы характеризуются цепными конфигурациями, формирующимися из пяти- и шестичленных колец.

В большинстве случаев у них углеродные атомы имеют три пространственные связи (подобно фрагментам решетки алмаза). Длина и углы между связями также характерны для структуры алмаза.

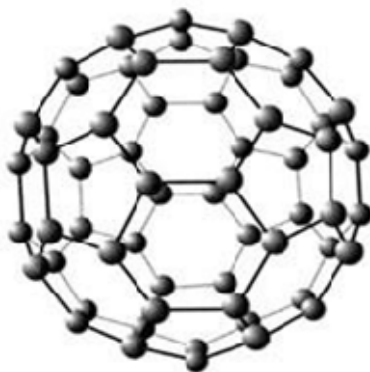


Рис. 2.10. Фуллерен C_{60} . Расстояние между атомами углерода составляет 0,14 нм

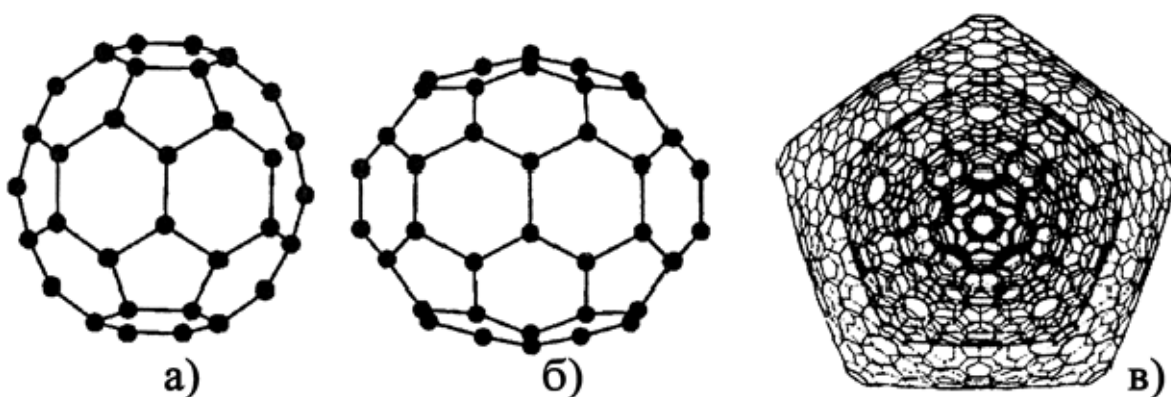


Рис. 2.11. Фуллереновые молекулы: а) C_{60} , б) C_{70} , в) прогноз молекулы фуллерена, содержащей более 100 атомов углерода

В настоящее время научились получать легированные фуллерены, путем добавления к их молекулам других атомов или молекул, в том числе и помещением атома легирующего элемента во внутренний объем молекулы. Такие композитные молекулярные структуры называются *эндофуллеренами* или *эндоэдральными комплексами* (рис. 2.11).

Ожидается, что некоторые такие соединения будут обладать сверхпроводящими свойствами. Кроме того, внедряя внутрь фуллеренов атомы радиоактивных элементов, можно создать высокоэффективные противоопухолевые препараты для селективной радиотерапии.

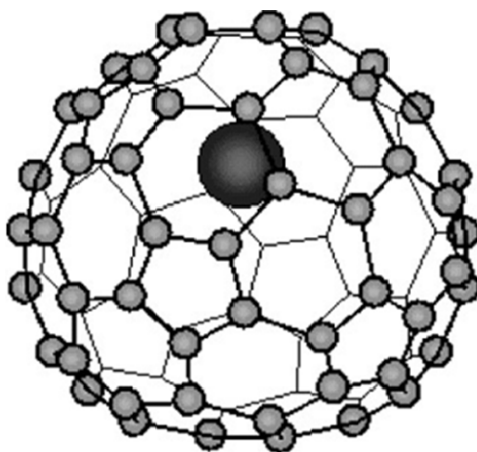


Рис. 2.12. Эндоэдральный комплекс

Наночастицы и нанотрубки. Из атомов углерода могут образовываться также различные структуры, составленные, как и в случае графита, из шестиугольных колец. Эти структуры являются полыми внутри и имеют замкнутую поверхность. Среди них выделяются *наночастицы* и *нанотрубки*. Наночастицы подобны фуллеренам, но значительно превосходят их по размерам. Они могут состоять из нескольких слоев, образуя «луковичные структуры» или *онионы* (от англ. *onion* – луковица). Нанотрубки представляют собой графитовые сетки, свернутые в трубки, и могут быть как открытыми, так и закрытыми с концов (рис. 2.13), однослойными и многослойными.

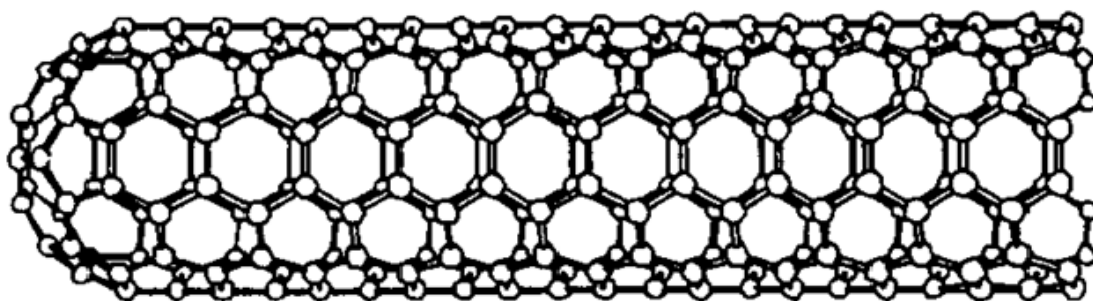


Рис. 2.13. Углеродная нанотрубка, закрытая с одного конца

Электропроводящие свойства нанотрубок зависят от угла между осью нанотрубки и направления, в котором соседние шестиугольники имеют общую сторону. Они могут быть как проводниками, так и полупроводниками. Углеродные нанотрубки чрезвычайно прочны и очень упруги. Открытые нанотрубки ведут себя как капилляры, втягивая в себя растворы или расплавы вещества, атомы которого меньше внутреннего диаметра трубки. Так могут создаваться *нанопроволоки*. При этом свойства металла внутри нанотрубки могут сильно отличаться от свойств этого металла в свободном состоянии, так как взаимодействие с углеродными стенками приводит к изменению его физических свойств.

Нанопленки. Для получения тонких композитных пленок (с толщиной 200 - 600 нм) на основе фуллереновой матрицы используется

метод вакуумного термического напыления смеси заданного состава на подложки, например на GaAs (рис.2.14.). Смесь порошка C_{60} с чистотой 99,98% и CdTe была приготовлена путём их совместного размельчения до 1 мкм и спекания при температуре 300° С. Напыление проводили в вакууме при температуре подложки около 160° С. Полученные пленки не имели заметных пространственных неоднородностей химического состава.

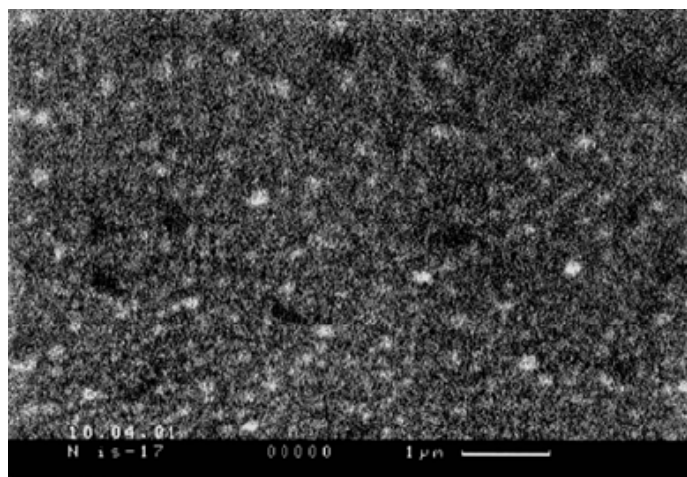


Рис. 2.14. Поверхность пленки «фуллерен C_{60} - 40% CdTe»

Очень большая твердость фуллеренов позволяет производить из них фуллеритовые микро- и наноинструменты для обработки и испытаний сверхтвердых материалов, в том числе и алмазов.

2.4.2. Применение наноразмерных материалов



Рис. 2.15. Основные области применения наноматериалов

Конструкционные материалы. Наноструктурные объемные материалы отличаются большей прочностью при статическом и усталостном нагружении, а также твердостью по сравнению с материалами с обычной величиной зерна. Поэтому основное направление их

использование в настоящее время – это использование в качестве высокопрочных и износостойких материалов. Так предел текучести увеличивается по сравнению с обычным состоянием в 2,5-3 раза а пластичность – либо уменьшается очень незначительно, либо для Ni_3Al возрастает в 4 раза. Композиты армированные углеродными нановолокнами и фуллеренами рассматриваются как перспективные материалы для работы в условиях ударных динамических воздействий, в частности для брони и бронежилетов.

Инструментальные материалы. Инструментальные сплавы с нанозерном являются как правило более стойкими по сравнению с обычным структурным состоянием. Нанопорошки металлов с включениями карбидов используют в качестве шлифующего и полирующего материала на конечных стадиях обработке полупроводников и диэлектриков.

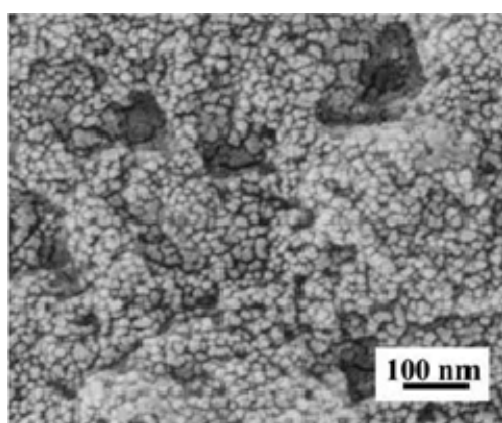
Триботехника. Здесь перспективы применения связаны с тем, что металлические материалы с наноструктурой обладая повышенной по сравнению с обычным структурным состоянием твердостью и износостойкостью. Другим направлением в этой области является использование полинанокристаллических алмазов и алмазоподобных покрытий, а также сверхтвердых веществ на базе фуллеренов (например, с молекулами C_{60}) и фуллеритов (легированных фуллеренов, например Fe_xC_{60}). Наноструктурные многослойные пленки сложного состава на основе кубического BN, C_3N_4 , TiC, TiN, Ti(Al,N), обладающие очень высокой или ультравысокой (до 70 ГПа) твердостью хорошо зарекомендовали себя при трении скольжения, в том числе ряд пленок – в условиях ударного износа. В качестве самосмазывающихся покрытий для космической техники предлагаются многофазные наноструктурные покрытия на основе $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$ с твердостью 20 ГПа и коэффициентом трения скольжения по стали 0,05. Металлические нанопорошки добавляют к моторным маслам для восстановления трущихся поверхностей.

Ядерная энергетика. В США и возможно в других странах к настоящему времени наноматериалы используются в системах поглощения ВЧ- и рентгеновского излучений. Таблетки ТВЭЛов изготавливаются из ультрадисперсных порошков UO_2 , а в термоядерной технике используются мишени для лазерно-термоядерного синтеза из ультрадисперсного бериллия. Перчатки, фартуки и другая защитная одежда из резины или искусственных материалов с добавками ультрадисперсного свинцового наполнителя при одинаковой степени защиты в четыре раза легче обычной защитной одежды.

Электро-магнитная и электронная техника. Хороший комплекс магнитных характеристик некоторых наноматериалов (железо в сочетании со слоями халькогенидов) делает перспективным их использование для записывающих устройств. Пленочные наноматериалы с плоской

поверхностью и поверхностью сложной формы из магнито-мягких сплавов используют для видеоголовок магнитофонов, где они существенно превосходят по техническим свойствам традиционные материалы. Разработаны наноструктурная никелевая фольга и магнитомягкий наносплав «Файнмет». Высокие значения коэрцитивной силы ряда наноматериалов делают перспективным их использование в качестве постоянных магнитов. Углеродные нанотрубки, напылённые железом, а также интерметаллидами самария с кобальтом типа Sm_xCo_y применяются в магнитных чернилах и тонерах. Углеродные нанотрубки, заполненные карбидами тугоплавких металлов (TaC , NbC , MoC) могут использоваться в качестве сверхпроводников. Пленки Ti-C-V с размером зерна около 2 нм обладают оптимальными электрофизическими свойствами в качестве резисторов при высокой термической стабильности по сравнению с объемными обычными образцами. Упорядоченные структуры в виде «ковров» из нанопроволок могут использоваться как сенсоры или элементы экранов высокого разрешения. Для устройств записи данных сверхвысокой плотности, в том числе для так называемых квантовых магнитных дисков, разработаны модели высокоплотной памяти.

Защита материалов. В ряде случаев для надежного функционирования изделий необходимо обеспечить высокие водо- и маслоотталкивающие свойства их поверхности. Примерами таких изделий могут служить автомобильные стекла, остекление самолетов и кораблей, защитные костюмы, стенки резервуаров для хранения жидкостей, строительные конструкции и т.п. В этих целях разработано покрытие на основе наночастиц оксида титана с размерами 20-50 нм и полимерного связующего. Данное покрытие резко снижает смачиваемость поверхности водой, растительным маслом и спиртовыми растворами (рис. 2.16).



а)



б)

Рис. 2.16. Покрытие на основе наночастиц оксида титана: а) структура поверхности, б) смачиваемость цементной плиты с покрытием растительным маслом, дистиллированной водой и спиртовым раствором.

Медицина и биотехнологии. Важной областью применения чистых наноструктурных материалов, в частности Ti, является использование их в медицинских целях – как имплантантов, протезов и в травматологических аппаратах. Причиной является сочетание высоких механических свойств (на уровне сложнолегированных сплавов) с высокой биологической совместимостью чистого металла. Наноструктурные пленки углерода и композиционные нанопленки на основе углерода и Si, SiO_x, SiN_x обладают хорошей биосовместимостью, химической, термической и механической стойкостью и поэтому их перспективно использовать для узлов биосенсоров, протезов и имплантантов.

Военное дело. Ультрадисперсные порошки используются в составе ряда радиопоглощающих покрытий для самолетов, созданных с применением технологии «Стелс», а также в перспективных видах взрывчатых веществ и зажигательных смесей.

2.4.3. Ограничения в использовании наноматериалов

Оказалось, что материалы с наноразмерным зерном отличаются хрупкостью. В ряде случаев, в т.ч. при использовании методов интенсивной пластической деформации, удается снизить проявление этого неприятного эффекта, например для нанокристаллических меди, титана и титановых сплавов, интерметаллида Ni₃Al. Тем не менее проблема остается достаточно актуальной. Важным ограничением для использования наноструктурных конструкционных материалов является их склонность к межкристаллитной коррозии из-за очень большой объемной доли границ зерен. В связи с этим они не могут быть рекомендованы для работы в условиях способствующих такой коррозии (диффузия с поверхности элементов внедрения и элементов диффундирующих по границам зерна, высокие температуры в сочетании с коррозионными воздействиями, радиация, состав сплава, склонный к изменениям химического состава по границам зерен и т.д.). Другим важным ограничением является нестабильность структуры наноматериалов, а следовательно, нестабильность их физико-химических и физико-механических свойств. Так при термических, радиационных, деформационных и т.п. воздействиях неизбежны рекристаллизационные, релаксационные, сегрегационные и гомогенизационные процессы, а также явления распада, фазовых превращений, спекания и заплывания нанопор и нанокапилляров, аморфизации или кристаллизации. Например, углеродных нановолокон, предназначенных для передачи жидкости, могут повреждаться под действием вибраций и возбуждаемой потоком жидкости структурной неустойчивости углерода. При формовании изделий из нанопорошков достаточно остро встает также проблема комкования (слипания наночастиц) в агломераты, что может осложнить получение материалов с заданной структурой и распределением компонентов.

Следует отметить, что на коммерческом рынке в настоящее время наиболее широко представлены такие наноматериалы, как нанопорошки металлов и сплавов, нанопорошки оксидов (кремния, железа, сурьмы, алюминия, титана), нанопорошки ряда карбидов, углеродные нановолокна, фуллереновые материалы.

Литература к разделу 2.4.

1. Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов М.И. НАНОМАТЕРИАЛЫ. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. Уч. Пособие. М.: Издательский центр Международного университета природы, общества и человека «Дубна», 2007. – 125 с.
2. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 117 с.
3. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы – состояние разработок и применение. // Перспективные материалы. 2001. №6. С.5–11.
4. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. – М.: Изд-во «Машиностроение –1», 2003 – 112 с.
5. Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабасова – М.: МИСИС, 2002 – 736 с.
6. Андриевский Р. А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева), 2002, т. XLVI, №5, с. 50-56.
7. Алферов Ж.И., Копьев П.С., Сурис Р.А. и др. Наноматериалы и нанотехнологии. // Нано- и микросистемная техника. 2003. №8. С.3-13.
8. Шпилевский, М. Э. Фуллерены и фуллереноподобные структуры – основа перспективных материалов / М. Э. Шпилевский, Э. М. Шпилевский, В. М. Стельмах // Инженерно-физический журнал. – 2001. – Т. 74. – № 6. – 15 с.
9. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

2.5. Метаматериалы

2.5.1. Отрицательная рефракция и левые среды

Метаматериалы (от греч. meta – над, после) – это искусственные композитные среды, электрический и магнитный отклики которых существенно отличаются от соответствующих откликов в составляющих средах, благодаря чему возникают свойства, не достижимые в природных материалах.

Одним из наиболее ярких примеров таких материалов являются так называемые левые среды, в которых реализуется отрицательная рефракция электромагнитных волн.

История вопроса. Интерес к отрицательной рефракции электромагнитных волн, в том числе света, при которой преломленный луч отклоняется по другую сторону от нормали к границе раздела сред, возник в начале XXI в. после появления публикации группы ученых из университета Сан-Диего (США), возглавляемой Д. Р. Смитом, сообщивших о создании композитных материалов, обладающих отрицательным показателем преломления. При этом данные ученые сослались на то, что возможность существования сред с отрицательным показателем преломления была теоретически обоснована советским физиком В. Веселаго еще в 1967 г.

Веселаго показал, что в средах с одновременно отрицательными значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей показатель преломления изменяет знак вследствие того, что изменяет свое направление на противоположное вектор Пойнтинга, образуя с векторами напряженностей электрического и магнитного полей левовинтовую тройку. Такие среды он назвал «левыми». Веселаго показал также, что в левых средах должны наблюдаться и другие аномальные явления: изменение знака групповой скорости и в доплеровском сдвиге частоты, обращение эффекта Вавилова – Черенкова, рассеяние света выпуклой линзой и, наоборот, его фокусировка вогнутой линзой.

Статья Веселаго, приобрела характер основополагающей работы в теории отрицательно преломляющих сред, называемых также левыми средами и средами Веселаго. В англоязычной литературе такие среды называют NIM (negative index materials) или LHM (left-handed materials). В последнее время все большее распространение получает термин «метаматериалы», указывающий на то, что свойства этих материалов зависят не от их химического состава, а от особенностей искусственно созданной конструкции из наноразмерных емкостных и индуктивных элементов. Резонансные свойства этих материалов таковы, что приводят к отрицательным значениям диэлектрической и магнитной проницаемостей в определенном диапазоне частот.

В 2000 г. идею Веселаго о фокусирующих свойствах плоскопараллельной пластинки из материала с отрицательным показателем преломления подхватил английский физик Дж. Пендри, показавший, что в этом случае отсутствует дифракционный предел на размер фокального пятна, присущий обычным линзам. Подобное фокусирующее устройство Пендри назвал совершенной линзой (perfect lens). Это означает, что можно создавать оптические микроскопы с недоступным ранее разрешением.

В 2006 г. Дж. Пендри выступил с новой идеей: если окружить объект материалом, показатель преломления которого плавно изменяется от 0 на внутренней поверхности до 1 на внешней, то свет будет огибать объект, и последний станет невидимым для наблюдателя. Идея была успешно проверена путем компьютерного моделирования, а затем реализована экспериментально в микроволновом диапазоне. Возможность создания такого «плаща-невидимки», способного сделать невидимым танк или самолет, вызвала чрезвычайный интерес у военных.

С 2004 г. группы Смита и Пендри объединили свои усилия в разработке метаматериалов, обладающих управляемым коэффициентом преломления, в том числе могущим принимать отрицательные значения. В различных университетах США и Западной Европы в создании новых метаматериалов участвуют и многие бывшие российские ученые: В Шалаев, А. Кильдишев, В. Драчев (университет Пурдю, США), А Пименов (университет Аугсбурга, Германия), А. Болташева (Датский технический университет, Люнгбю, Дания) и др.

2.5.2. Отрицательно преломляющие среды для света

Метаматериалы для микроволн. Как уже отмечалось выше, отрицательные значения показатель преломления может принимать лишь в магнитодиэлектриках. Первые попытки поиска таких материалов, у которых в определенном диапазоне частот одновременно становились бы отрицательными ϵ и μ , были предприняты еще В. Г. Веселаго. Он пытался создать материал с отрицательным преломлением «на основе магнитного полупроводника CdCr_2Se_4 , однако эти усилия не увенчались успехом из-за существенных технологических трудностей, которые характеризуют синтез этого материала».

Затем Кэмли и Миллс предположили, что материалами с отрицательным показателем преломления могут быть антиферромагнитные металлы. Они исходили из того факта, что металлы могут обладать отрицательной диэлектрической проницаемостью, а антиферромагнетики – отрицательной магнитной проницаемостью. Исходя из этого, они показали, что в антиферромагнитных металлах фазовая скорость как объемных, так и поверхностных поляритонов направлена противоположно их групповой скорости.

В 1996 г. Дж. Пендри предположил, что кубическая решетка из тонких металлических проводников может являться моделью металла для электромагнитного излучения сверхвысокой частоты. В этой модели использовались проводники диаметром в несколько десятков микрометров, расположенные на расстоянии нескольких миллиметров друг от друга, а облучение велось на гигагерцевых частотах. В 1999 г. Пендри предложил создать искусственный материал, состоящий из так называемых расщепленных кольцевых резонаторов (SRR – split ring resonators), который демонстрировал в определенной полосе частот отрицательные значения ϵ .

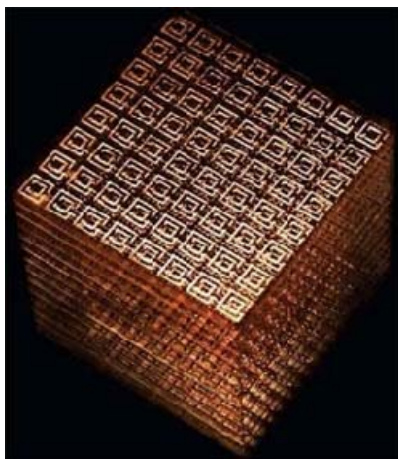


Рис. 2.17. Куб из расщепленных кольцевых резонаторов и проволонок, имеющий отрицательный показатель преломления для радиоволн частотой около 10 ГГц

Эта идея была усовершенствована в 2000 г. Д. Смитом с коллегами, которые создали первый композитный материал с одновременно отрицательными ϵ и μ , состоящий из перемежающихся слоев SRR и тонких металлических проволонок. Такой материал обнаруживал отрицательный показатель преломления для электромагнитных волн частотой около 10 ГГц.

2.5.3. Перспективы практического использования метаматериалов

Уникальные свойства метаматериалов, в частности, возможность получения в них отрицательных значений показателя преломления, позволяют надеяться, что в недалеком будущем появятся созданные на их основе совершенно новые, неизвестные ранее технические устройства.

Совершенные линзы. Обычные линзы, по сути дела, являются дифракционными устройствами. Диаметр ограниченного центральным дифракционным максимумом фокального пятна выпуклой сферической линзы не превышает значения $1,22\lambda$, где λ - длина волны падающего света. Разрешающей силой линзы называется величина

$$R = \frac{D}{1,22\lambda}, \quad (2.18)$$

Где D – диаметр линзы. Из (2.18.) следует, что разрешающая сила линзы тем больше, чем больше ее диаметр и чем меньше длина волны света. В любом случае это величина конечная. Угловое расстояние между двумя точками, при котором они еще воспринимаются раздельно,

$$\delta\varphi = \frac{1}{R} = \frac{1,22\lambda}{D}. \quad (2.19)$$

Например, для зрачка человеческого глаза при нормальном освещении $D = 2\text{мм}$. Подставляя это значение в (2.19) и принимая $\lambda = 500\text{нм}$, получаем $\delta\varphi \approx 1'$.

Как было показано Дж. Пендри, плоскопараллельная пластинка из материала с показателем преломления $n=1$, играющая роль фокусирующей линзы, не обладает этим недостатком. Дело в том, что в этом случае фокусировка света имеет совершенно иную физическую природу: не дифракционную, а рефракционную (см. рис. 2.17). Поэтому световые лучи с помощью такой линзы могут быть сфокусированы практически в точку. Интенсивность света в фокусе теоретически может стремиться к бесконечности. Подобные совершенные линзы, если они будут созданы, позволят резко увеличить разрешающую способность оптических микроскопов, сделать ее независимой от длины волны света.

Кроме того, такие линзы найдут применение в фотолитографии, позволяя уменьшить размеры изображения элементов интегральных схем с большой степенью интеграции. Использование УФ-литографии позволяет пока снизить разрешение этих элементов до $0,25\text{ мкм}$. Для получения более мелких деталей применяются электронно-лучевая и рентгеновская литография.

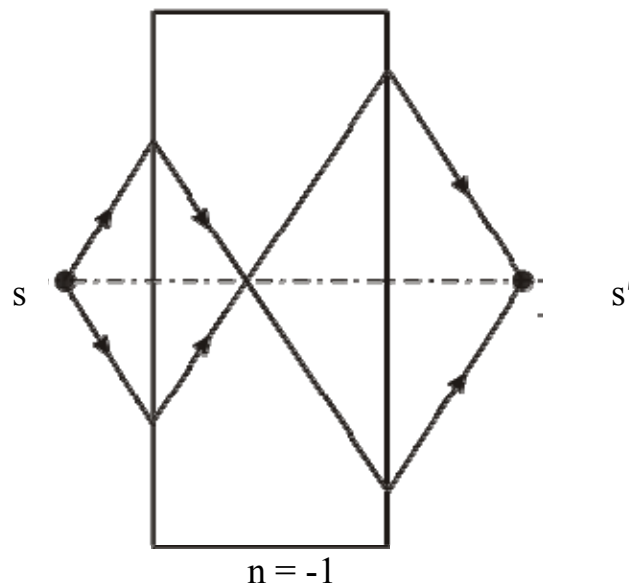


Рис. 2.18. Фокусирующая пластинка из отрицательно преломляющего свет метаматериала

Однако использование этих высокоэнергетичных методов во многих случаях может нанести создаваемым приборам необратимые повреждения. Поэтому расширение возможностей фотолитографии, особенно в сочетании с ее высокой производительностью и стабильностью получаемых фотошаблонов, представляется весьма перспективным.

«Плащи-невидимки». Представляет интерес и другая идея Дж. Пендри – создание оболочек, способных сделать укрываемый ими объект невидимым для наблюдателя. Действительно, представим себе некий объект, окруженный оболочкой, показатель преломления которой изменяется от $n=-1$ на внешней поверхности до $n=0$ на внутренней поверхности (рис. 2.18). Тогда внешнюю поверхность такого «плаща» световые лучи будут пересекать без отражения и преломления. По мере проникновения вглубь слоя угол преломления будет возрастать от значения, равного углу падения, до 90° , так как при $n=0$ для любого падающего луча имеет место полное внутреннее отражение. Свет будет попросту обтекать предмет подобно тому, как обтекала бы его жидкость.

Поскольку отраженные лучи отсутствуют, то наблюдатель предмета не видит. Правда, для этого надо позаботиться о том, чтобы отсутствовали или, по крайней мере, были незначительны потери света на поглощение в укрывающем слое, иначе наблюдатель увидит перед собой некоторое темное пятно непонятного происхождения. Для уменьшения потерь на поглощение света такие «плащи-невидимки» должны быть достаточно тонкими.

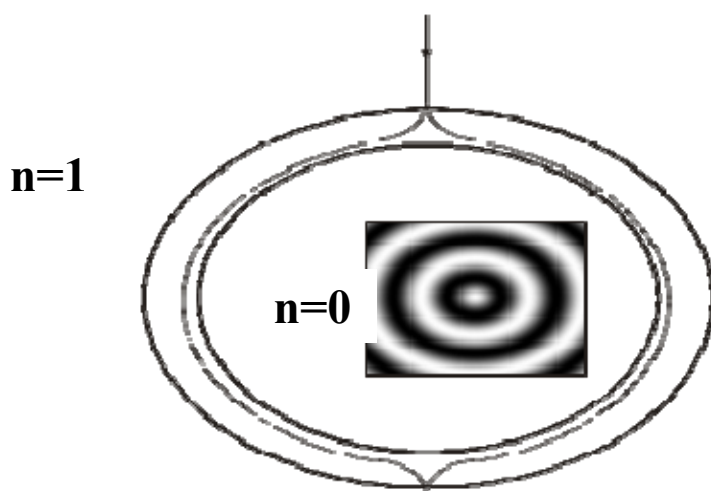


Рис. 2.19. Обтекание светом объекта, укрытого «плащом-невидимкой»

К метаматериалам, из которых можно создавать оболочки, способные сделать невидимыми для человека и радаров, например, танк или самолет, проявили особый интерес военные ведомства. Достаточно сказать, что Агентство передовых исследований при Министерстве обороны США (DARPA) выделило на эти исследования солидный грант.

2.5.4. Недостатки существующих метаматериалов и возникающие проблемы

Метаматериалам на основе периодически распределенных резонансных металлических элементов присущи следующие недостатки:

- сильная зависимость показателя преломления от частоты, угла падения и поляризации падающего излучения;
- невозможность плавного и динамического (посредством внешних полей) управления показателем преломления;
- сложность получения протяженных по площади, гибких пленок с показателем преломления $n \leq 1$.

Эти недостатки делают проблематичным использование таких метаматериалов для тех основных целей, ради которых и затевалось их создание: использования в линзах субволнового разрешения и в качестве материалов для «плащей-невидимок», укрывающих объект от внешнего наблюдателя.

По этой причине возникает актуальная проблема создания иных сред для реализации этих целей. Такие среды должны быть свободны, если не от всех, то хотя бы от части недостатков, свойственных композитным метаматериалам. Желательно, чтобы такие среды обладали следующими качествами:

- оптическая изотропия;
- достаточная широкополосность;
- возможность изменения показателя преломления, заложенная в среду конструктивно, или посредством внешних полей;
- возможность создания слоев достаточно больших размеров.

Литература к разделу 2.5.

1. Веселаго, В. Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ε и μ / В. Г. Веселаго // УФН. – 1967. – Т. 92. – № 3. – С. 517–526.
2. Агранович, В. М. Пространственная дисперсия и отрицательное преломление света / В. М. Агранович, Ю. Н. Гартштейн // УФН. – 2006. Т. 176. – № 10. – С. 1051–1068.
3. Шевчик, В. Н. Упрощенная теория генератора обратной волны / В. Н. Шевчик // Радиотехника и электроника. – 1958 – Т. 3. – С. 181.
4. Pendry, J. B. Negative refraction index makes perfect lens / J. B. Pendry // Phys. Rev. Lett. – 2000. – V. 85. – P. 3966–3969.
5. Pendry, J. B. Controlling electromagnetic fields / J. B. Pendry et al. // Science. – 2006. – V. 312. – P. 1780–1782.
6. Schurig, D. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies / D. Schurig et al. // Science. – 2006. – V. 314. – P. 977–980.

7. McCall, M. W. The negative index of refraction demystified / M. W. McCall, A. Lakhtakia, W. S. Weiglhofer // *Eur. J. Phys.* – 2002. – V. 23. – P. 358–359.
8. Depine, R. A new condition to identify isotropic dielectric-magnetic materials displaying negative phase velocity / R. Depine, A. Lakhtakia // *Microwave Opt. Technol. Lett.* – 2004. – V. 41. – No 4. – P. 325–316.
9. Chettiar, U. K. Dual-band negative index metamaterial: double negative at 813 nm and single-negative at 772 nm / U. K. Chettiar et al. // *Opt. Lett.* – 2007. – V. 32. – No 12. – P. 1671–1673.
10. Yuan, H.-K. A negative permeability material at red light / H.-K. Yuan et al. // *Optics Express.* – 2007. – V. 15. – No 3. – P. 1076–1083.
11. Camly, R. E. Surface polaritons on uniaxial antiferromagnetics / R. E. Camly, D. L. Mills // *Phys. Rev. B.* – 1982. – V. 26. – P. 1280–1287.
12. Pendry, J. B. Extremely low frequency plasmons in metallic microstructures / J. B. Pendry et al. // *Phys. Rev. Lett.* – 1996. – V. 76. – P. 4773–4776.
13. Pendry, J. B. Magnetism from conductors, and enhanced non-linear phenomena / J. B. Pendry et al. // *IEEE Trans. Micr. Theory and Techniques.* – 1999. – V. 47. – P. 2075.
14. Shelby, R. Experimental verification of a negative index of refraction / R. Shelby, D. R. Smith, S. Schultz // *Science.* – 2001. V. 292. – P. 77.
15. Linden, S. Magnetic response of metamaterials at 100 THz / S. Linden, C. Enkirch, M. Wegener et al. / *Science.* – 2004. – V. 306. P. 1351–1353.
16. Shalaev, V. M. Negative index of refraction in optical metamaterials / V. M. Shalaev et al. // *Opt. Lett.* – 2005. – V. 30. – No 24. – P. 3356.
17. Drachev, V. P. Experimental verification of an optical negative index material / V. P. Drachev et al. // *Laser Phys. Lett.* – 2006. – V. 3. – No 1. – P. 49–55.
18. Klar, T. A. Negative-index metamaterials: going optical / T. A. Klar et al. // *IEEE J. Select. Top. Quant. Electr.* – 2006. – V. 12. – No 6. – P. 1106–1115.
19. Dolling, G. Negative-index metamaterial at 700 nm wavelength / G. Dolling, M. Wegener, C. M. Soukoulis, and S. Linden // *Opt. Lett.* – 2007. – V. 32. – P. 53–55.

2.6. Тридцать самых актуальных проблем физики и астрофизики

19 июня 2002 г. в ГАИШ началась международная школа-семинар (конференция) "Темная материя, темная энергия и гравитационное линзирование". И первым докладом было выступление Виталия Лазаревича Гинзбурга, впоследствии лауреата Нобелевской премии по физике (2003 г.) об актуальных проблемах современной физики (и астрофизики).

Свое выступление он начал такими словами: "Я в течение многих лет одержим идеей, что физика очень широка, что приводит к сильнейшей специализации, ... а о физике в целом многие физики имеют смутное представление. ... Однако у физики есть стержень, им является теоретическое знание."

"Я составил список проблем, которые мне кажутся актуальными и важными." Первый такой список появился в 1970-71 году и был опубликован в УФН. Он вообще является "функцией времени", много раз изменялся и дополнялся. Сегодня в него входят 30 проблем:

1. Управляемая термоядерная реакция.
2. Сверхпроводимость при высокой и комнатной температурах. (Сегодня сверхпроводимость получена при 164K при высоком давлении и при 135K без давления. Поэтому сегодня сверхпроводимость при комнатной температуре более далекий результат, чем при высокой. До сих пор не ясно, что именно за процессы вызывают такую сверхпроводимость. Соответственно, современная теория не может ответить и на вопрос о том, возможна ли сверхпроводимость при комнатных температурах вообще.)
3. Металлический водород. Другие экзотические субстанции. (В настоящее время, в опытах по сжатию водорода достигнуто давление порядка 3 Мбар (при сжатии холодного водорода с помощью алмазных наковален). Металлическое состояние еще не достигнуто (предполагается, что для этого потребуется давление в 40 Мбар), а дальнейшее повышение давления связано с большими техническими трудностями.)
4. Двумерные электронные жидкости (аномальный эффект Холла и прочее). (Интересная область, здесь уже получены две Нобелевские премии.)
5. Некоторые проблемы твердого тела (гетероструктуры в полупроводниках, квантовые ямы и точки, зарядовые и спиновые волны, мезоскопия и прочее).
6. Фазовые переходы второго рода и связанные с ними эффекты (охлаждение до сверхнизких температур, Бозе-Эйнштейновский конденсат в газах и др.). (Ландау была разработана самосогласованная теория фазовых переходов второго рода - без учета влияния флуктуация, которая имеет ограниченную область применения. Полная теория не до конца разработана до сих пор. Возможность существования конденсата Бозе-Эйнштейна именно в газах была предсказано первой (еще до открытия

сверхтекучести), но получена в эксперименте только в 1995 году, из-за больших технических сложностей.)

7. Поверхностная физика. Кластеры.

8. Жидкие кристаллы. Ферроэлектрики. Ферротороики (Ferrotoroic). (Кроме электрического и магнитного момента существует еще тороидальный момент - им обладает замкнутый тороидальный соленоид, по которому течет ток. Внутри такого соленоида есть магнитное поле, а снаружи оно отсутствует, т.е. он отличается от такой же катушки без тока, хотя обнаружить подобное различие не заглядывая внутрь достаточно сложно. Ферротороики - вещества обладающие ненулевым собственным тороидальным моментом.)

9. Фуллерены. Нанотрубки.

10. Свойства вещества в сверхсильных магнитных полях. (Твердо установлено, что на поверхности нейтронных звезд магнитные поля достигают 1012 Гс. Предполагается, что может существовать подкласс нейтронных звезд, так называемые "магнетары" ("магнитары"), у которых поля еще выше - до 1014-1015 Гс.)

11. Нелинейная физика: турбулентность, солитоны, хаос, странные аттракторы.

12. Разеры (Rasers), гразеры (Grasers) - лазеры на рентгеновских и гамма-лучах. (В данных энергетических диапазонах достаточно трудно получить инверсную населенность уровней, на которой работают "классические" лазеры, поэтому ищутся обходные пути. Получены достаточно интересные результаты.)

13. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.

14. Спектр масс элементарных частиц. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика. Кварк-глюонная плазма.

15. Единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий.

16. Стандартная модель. Массы нейтрино. Магнитные монополи.

17. Фундаментальная длина. (В современной физике присутствует, по крайней мере, одна фундаментальная планковская длина. Однако в современных теориях предполагается, что наше пространство-время имеет не три пространственных измерения, а больше. Дополнительные измерения свернуты в кольца ("компактифицированы"). Долгое время предполагалось, что размеры свернутых измерений порядка планковской длины. Однако в последнее время была выдвинута идея, что, по крайней мере, одно или несколько свернутых измерений могут иметь существенно больший размер. Размер такого (таких) измерений и есть новая фундаментальная длина. На ней будет изменяться (становится круче) зависимость силы тяготения от расстояния. На сегодня Ньютоновский закон экспериментально проверен до масштабов порядка 0.01 см.)

18. Нелинейные феномены в вакууме и сверхсильных электрических полях.

19. Несохранение СР-инвариантности.
20. Струны. М-теория.
21. Экспериментальная проверка Общей Теории Относительности. (Неправильно думать, что именно ОТО предсказала отклонение луча света в гравитационном поле Солнца. Такое предсказание дает и классическая ньютоновская теория гравитации, в которой свет рассматривается как поток фотонов. Другое дело, что предсказания этих двух теорий отличаются ровно в два раза (у ОТО больше), и обнаружение этого различия и послужило первым экспериментальным подтверждением ОТО. А вот так называемая скалярная теория гравитации предсказывала отсутствие отклонения луча света и была отвергнута экспериментом.)
22. Гравитационные волны и их детектирование. (Потери энергии, с точностью до 0.1% согласующиеся с формулой Эйнштейна (т.е. с теорией относительности), обнаружены на основе многолетних наблюдений двойного пульсара B1913+16. А вот экспериментальной регистрации гравитационных волн еще не было, хотя завершаются работы по строительству нескольких наземных лазерных детекторов.)
23. Космологические проблемы. Инфляция. Связь космологии и физики высоких энергий.
24. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые.
25. Черные дыры. Космические струны.
26. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.
27. Проблема темной материи и ее детектирование.
28. Поиск ультравысокоэнергичных космических лучей. (Протоны с энергией $E > 3 \cdot 10^{19}$ эВ из-за взаимодействия с фотонами реликтового излучения не могут распространяться на расстояние большее ~ 100 Мпк. Таким образом, на более высоких энергиях должен наблюдаться завал в спектре космических лучей (его называют завалом Зацепина-Кузьмина-Грайзена). Однако экспериментальные наблюдения широких атмосферных ливней такого завала не показывали, частиц с энергиями выше порога наблюдалось неожиданно много.)
29. Гамма-всплески (GRB). Гиперновые. (Впервые гамма-всплески были зарегистрированы в 1968 году с военных американских спутников "Vela". В 1971 эту информацию рассекретили, тогда и появились первые публикации о них. Долгие годы основной считалась модель вспышек на нейтронных звездах в гало Галактики. Однако в 1997 г. было доказано, что гамма-всплески (по крайней мере, часть их) происходят в других галактиках, удаленных на космологические расстояния. Следствием этого стало фантастически высокое энерговыделение в этих процессах (до $5 \cdot 10^{54}$ эрг у самых далеких GRB). Достижения буквально последнего года: а) связь гамма-всплесков (по крайней мере, некоторых) со вспышками сверхновых б) заметная коллимация излучения гамма-всплесков (что приводит к снижению оценки выделяющейся в них энергии до $\sim 5 \cdot 10^{51}$ эрг.)

30. Нейтринная физика и астрономия. Осцилляции нейтрино. (Начиная с первого эксперимента по измерению потока нейтрино от Солнца (Дэвис, 1968 г., Хлор-Аргоновый детектор) наблюдалось несоответствие между теоретически ожидаемым потоком этих частиц и регистрируемым на Земле - регистрировалось примерно в 3 раза меньше. Долгое время это относили на неточность модели Солнца, затем на то, что измеряются нейтрино не от основного канала термоядерных реакций. Но проблема не поддавалась. За эти несколько десятилетий была высказана идея, что нейтрино могут осциллировать, т.е. одни сорта нейтрино могут превращаться в другие. В термоядерных реакциях на Солнце образуются только электронные нейтрино, а из-за осцилляций на Землю приходил бы уже поток нейтрино трех (или двух) сортов, из которых на химических детекторах фиксировались только электронные нейтрино. Для осцилляций было необходимо, чтобы хотя бы один из трех сортов нейтрино имел ненулевую массу. В этом году факт осцилляции нейтрино был экспериментально доказан.)

В конце своей лекции Виталий Лазаревич сказал: "Приходится сталкиваться с мнением, что физика закончилась (осталось совсем чуть-чуть). Не верю. Доказать не могу, но считаю абсолютной чепухой. В физике несделанного гораздо больше, чем сделано."

2.7. Контрольные вопросы по второму разделу

1. История развития космологии. Становление современной космологии.
2. Объекты космологии. Наблюдаемая Вселенная. Возраст Вселенной.
3. Темная энергия.
4. Скрытая масса.
5. Наблюдаемые процессы. Космологическое красное смещение.
6. Расширение Вселенной.
10. Формирование галактик.
11. Закон Хаббла.
12. Космологические модели. Большой взрыв, хронология Большого взрыва.
13. Детерминированные, недетерминированные и стохастические процессы
14. Энтропия. Обратимые и необратимые процессы.
15. Принцип возрастания энтропии. Физический смысл энтропии.
16. Информация - количество и ценность.
17. Информация в живой природе.
18. Шум. Виды и их восприятие человеком.
19. Синергетика. Теория самоорганизации.
20. История развития синергетики.

21. Виды самоорганизации. Примеры.
22. Самоорганизация в живой природе. Примеры.
23. Самоорганизация в неживой природе. Реакция Белоусова – Жаботинского. Примеры.
24. Самоорганизация в социально-экономических системах.
25. Наноматериалы: классификация, особенности свойств, применение и технологии получения.
26. Наноматериалы и нанотехнологии – история, современность и перспективы.
27. Понятие о наноматериалах. Основы классификации и типы структур наноматериалов.
28. Классификация наноматериалов.
29. Особенности свойств наноматериалов и основные направления их использования.
30. Основные области применения наноматериалов и возможные ограничения.
31. Основные технологии получения наноматериалов.
32. Фуллерены, фуллериты, нанотрубки.
33. Метаматериалы. История развития теории отрицательно преломляющих сред – метаматериалов (искусственных материалов из наноразмерных емкостных и индуктивных элементов).
34. Перспективы практического использования метаматериалов: совершенные линзы, «плащи-невидимки».

Раздел 3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ РФ

3.1. Особенности современного состояния развития науки, техники и технологий в Российской Федерации

Современный экономический рост в мире характеризуется ведущим значением научно-технического прогресса и интеллектуализацией основных факторов производства. На долю новых знаний, воплощаемых в технологиях, технике, образовании кадров в развитых странах мира, приходится от 70 до 85% прироста ВВП, 75-90% прироста ВВП обеспечиваются за счет роста инновационного сектора, а в России пока данный показатель находится только на уровне 10%, что негативно сказывается на общей эффективности экономики. Так, по существующим оценкам, упущенная выгода России от инновационного отставания составляет 1214 млрд. долл. в год. Внедрение нововведений стало ключевым фактором рыночной конкуренции, позволяя передовым фирмам добиваться сверхприбылей за счет присвоения интеллектуальной ренты, образующейся при монопольном использовании более эффективных продуктов и технологий.

Особенностью современного этапа социально-экономического развития стало широкое применение информационных технологий, многократно расширивших возможности генерирования и передачи знаний и, соответственно, НИОКР. Следствием информационной революции стало превращение науки в ведущую производительную силу, которая непрерывно генерирует новые технологические возможности. Переход к экономике знаний вызвал серьезный сдвиг в структуре общественного производства, резко увеличив потребности и возможности образования и творческой деятельности.

Характерной чертой современного экономического роста стал переход к непрерывному инновационному процессу в практике управления. Проведение НИОКР занимает все больший вес в инвестициях, превышая в наукоемких отраслях расходы на приобретение оборудования и строительство. Одновременно повышается значение государственной научно-технической, инновационной и образовательной политики, определяющей общие условия научно-технического прогресса. Интенсивность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и качество человеческого потенциала определяют сегодня возможности и уровень экономического развития – в глобальной экономической конкуренции выигрывают те страны, которые обеспечивают благоприятные условия для научно-технического прогресса.

В этой связи важно отметить, что семь ведущих стран мира, обладая 46 из 50 самых передовых макротехнологий, обеспечивающих производство наукоемкой продукции (в области аэрокосмической техники,

автоматизированного оборудования и информационной техники, электроники, точных и измерительных приборов, электрооборудования и др.), контролируют более 4/5 мирового рынка наукоемкой продукции. Из этих технологий 22 контролируются США, 8–10 – Германией, 6–8 – Японией, по 3–5 – Великобританией и Францией, по 1 – Швецией и Италией. Ряд индустриальных стран Восточной и Южной Азии успешно провели экспортно-ориентированную индустриализацию и в настоящее время их доля в мировом экспорте наукоемкой продукции составляет около 15%. Так, в Китае объем продукции отраслей новейших технологий вырос за 10 лет в 27 раз, а ее доля в валовом промышленном продукте возросла до 35,4%.

Россия уступает ведущим мировым страна, являющимся центрами научного прогресса в расходах на НИОКР.

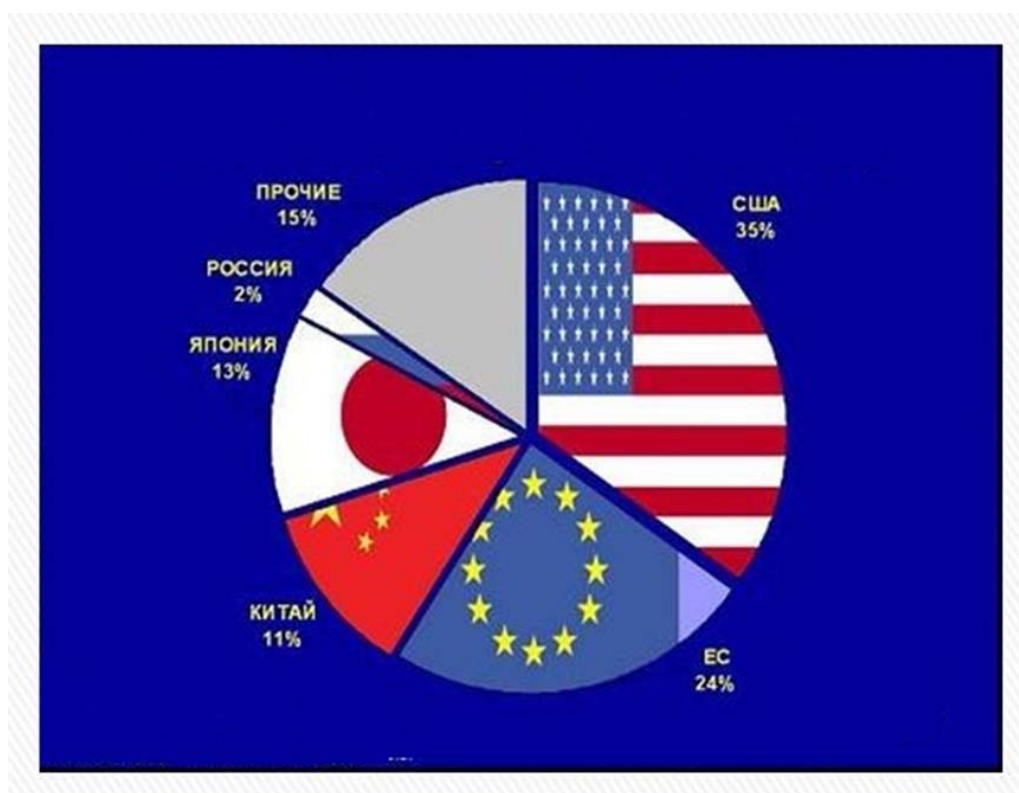


Рис. 3.1. Доля в мировых расходах на НИОКР

Источник: Global R&D Report 2008 Magazine, p.3.

Развитые индустриальные страны мира перешли к массовому распространению производств нового (шестого) технологического уклада и замещение ими традиционных технологий во многих отраслях экономики (рис. 3.1). Шестой технологический уклад базируется на таких направлениях, как нанотехнологии, биотехнологии, глобальные информационные сети, альтернативная энергетика, в том числе водородная. Развитие технологий новейшего уклада наблюдается уже в течение 20 лет.

Шестой технологический уклад выступает ориентиром, от которого отталкиваются авторы стратегий и долгосрочных прогнозов развития (до 2035 или 2050 годов) не только США, но и Японии, Южной Кореи, стран Европейского союза. По прогнозным оценкам экспертов к 2020 году мировой рынок высокотехнологичной продукции превысит сырьевой в 10 раз.



Рис. 3.2. Базовые направления технологических укладов (ТУ)

Пока же вес России на рынке высокотехнологичной продукции пренебрежимо мал. Самые скромные оценки экспертов говорят, что по уровню развития высоких технологий Россия откатилась на 10-15 лет, а по некоторым направлениям и на 20 лет, при этом перейти на шестой уклад, не до конца освоив пятый, является архисложной задачей. Есть ли у нее решение? Эксперты предупреждают: «не перепрыгнем через пятый уклад – разрыв будет непреодолим».

В российской инновационной системе есть практически все необходимые институты. Но все они – разрозненны, а значит, собственно системы нет. Есть компании, есть вузы, Академия наук – но они, в общем и целом, работают независимо друг от друга, имея свои, мало пересекающиеся между собой, цели и миссии.

Такой вывод напрашивается, если анализировать деятельность институтов, в том числе институтов развития, не по затратам, не по

описаниям проектов, а по результатам – то есть по тому, как мы в итоге живем, что меняется, что нового, инновационного появляется в нашей повседневной жизни – может быть, принципиально новые лекарства, методы лечения, сервисы, техника – то, что видно не специалистам, а просто людям.

Поэтому государство возвращалось и возвращается к идее о том, что институты инновационной системы надо связать воедино – и тогда будет достигнут принципиально новый эффект.

В этом направлении развивается целый ряд концептуальных положений и идей. Одна из них – идея «инновационного лифта». Еще в 2009 году президент Дмитрий Медведев заявил, что надо строить в стране «инновационный лифт». Суть состоит в том, что научная разработка, от идеи до коммерческого воплощения, должна иметь возможность получить поддержку на всех этапах своего развития, то есть необходимы разные источники и механизмы финансирования и другие формы поддержки. Соответственно должна появиться преемственность в работе институтов, минимизировано дублирование и достигнуты прочие положительные эффекты. Отдельная попытка сформировать связную систему – это инновационный центр «Сколково».

Принципиально новым для России стало появление в 2010 году концепции так называемых технологических платформ. Они были задуманы как своеобразные площадки, благодаря которым вузы, научные организации и бизнес получают возможность обсуждать перспективы развития и реализовывать конкретные технологические проекты. Таких платформ сегодня 28.

Иными словами, меры по созданию связей постоянно появляются и обновляются, но сами связи остаются слабыми. Почему?

Во-первых, надо учитывать, что с момента распада СССР сначала был тяжелый кризис в науке, связанный с резким сокращением финансирования, повлекший за собой отток кадров. На этом фоне организационных реформ, по сути, не проводилось. Потом начался период стагнации – конец 1990-х – начало 2000-х. Именно тогда кадровая ситуация была фактически пущена на самотек. Тогда же происходило отделение научной политики от инновационной: наука получила название «сектора генерации знаний», имеющего не вполне понятные границы, а меры по стимулированию инноваций обсуждались вне связи с научной политикой.

Во-вторых, в политике текущего этапа государство резко усилило акцент на поддержку науки в вузах, на этом сосредоточены большое внимание, целый ряд мер и существенный объем средств. На науку в вузах возлагаются большие надежды – помимо собственно развития она еще должна заменить развалившуюся систему отраслевой науки. В то же время и компаниям надо уделять больше внимания инновациям и стимулировать

их к наращиванию вложений в НИОКР, в том числе выполняя их в сотрудничестве с вузами. Появился даже специальный термин – «принуждение к инновациям», причем понимать его следует буквально, безо всяких кавычек (см. таблицу 3.1.).

Выделение фаворитов в сочетании с принуждением – это сложный путь стимулирования связей. Не слишком способствует решению задачи и то, что наука остается в основном государственной, а значит – под контролем и патронажем государства.

Таблица 3.1.

Изменения по секторам науки, 2010/2000

Сектор науки	Число организаций, 2010	% изменения 2010/2000	Численность работающих, тыс. чел., 2010	% изменения, 2010/2000
Государственный	1400	+12,3	259 007	+1,2
в том числе				
академический	853	+2,6	137 698	-6,4
Предпринимательский	1405	-38,3	423 112	-28,4
Высшего образования	617	+17,3	53 290	+30,7
ВСЕГО	3492	-14,8	736 540	-17,0

Источники: EUROSTAT, 2011; Science and Engineering Indicators, 2012; Appendix Tables.

National Science Foundation, 2012;

Наука, технологии и инновации России: 2009. Краткий статистический сборник. М.: ИПРАН РАН, 2009;

Наука, технологии и инновации России: 2011. Краткий статистический сборник. М.: ИПРАН РАН, 2011.

Государственное участие в науке выше, чем в других странах, и в последние годы только возрастает. По этому параметру Россия фактически находится в противофазе по отношению не только к развитым странам, но даже и странам БРИКС. Везде происходит рост удельного веса бизнес-сектора в финансировании НИОКР, а в России – наоборот (см. диаграмму). Так, по данным за 2010 год, 68,8% общих расходов на науку в России приходилось на средства федерального бюджета. За 2011 год, по приблизительным оценкам, уже больше 70%. Так что усиление финансового участия государства очевидно.

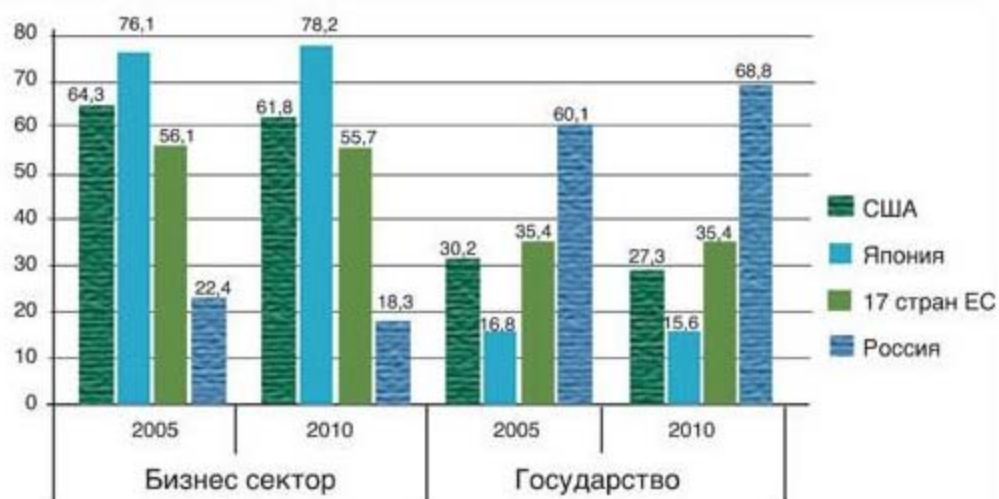


Рис. 3.3. Удельный вес участия в науке

Источники: EUROSTAT, 2011; Science and Engineering Indicators, 2012; Appendix Tables. National Science Foundation, 2012;

Наука, технологии и инновации России: 2009. Краткий статистический сборник. М.: ИПРАН РАН, 2009;

Наука, технологии и инновации России: 2011. Краткий статистический сборник. М.: ИПРАН РАН, 2011.

Не менее важен и тот факт, что государство в России финансирует в значительной степени НИОКР, выполняемые в бизнес-секторе. Происходит классическое замещение частных средств государственными. Отчасти это объяснимо, потому что в стране немало компаний с государственным участием. Тем не менее, если в среднем по развитым странам мира доля государства в финансировании НИОКР в бизнес-секторе составляет 6–7%, то у нас она близка к 60% (см. таблицу 3.2.).

Таблица 3.2.

Страна	2005	2006	2007	2008	2009
США	9,7	9,8	9,9	8,9	14,0
Япония	1,2	1,0	1,1	0,9	-
Германия	4,5	4,5	4,5	4,5	5,5
Франция	10,1	11,3	9,8	11,4	-
Великобритания	8,3	7,6	6,8	6,6	6,6
Страны ОЭСР, в среднем	6,8	6,8	6,8	6,5	-
Россия	53,6	52,0	55,3	56,0	57,4

Источники: OECD (2010), Main Science and Technology Indicators, Volume 2010/2; OECD Publishing; Science and Engineering Indicators, 2012. Appendix Tables. National Science Foundation, 2012.

При этом крупные госкомпании, согласно недавно обнародованным данным, на 60% финансируют свои НИОКР за счет средств федерального бюджета. В итоге получается, что связи пытаются создавать не в инновационной системе в целом, а в государственном секторе методами, характерными для иерархических систем.

Если обратиться к зарубежному опыту, то можно найти разные схемы поддержки связей между бизнесом и наукой. В США, например,

многие годы правительство финансировало программу передовых технологий. В начале реализации программы компании не проявляли большого интереса к сотрудничеству с университетами или малыми фирмами. Преимущества кооперации осознавались постепенно, и вслед за этим находились пути взаимодействия. В динамике произошел существенный рост включенности в проекты и университетов, и малых инновационных компаний. Тем не менее эксперты констатировали, что есть ряд факторов, которые устойчиво препятствуют развитию кооперации. Именно они – универсальны. Это разница менталитетов, миссий, целевых установок деятельности. Всегда есть недостаток доверия и нежелание, боязнь делиться информацией. И нужно длительное время для того, чтобы выстроить успешные отношения. А у нас, как правило, у всех инициатив запала хватает на два-три года, что в принципе очень мало.

Однако в международном контексте положение России не столь безнадежно. Мировой банк рассчитывает индекс экономики знаний, в который входит и показатель тесноты связей между компаниями и университетами в области проведения НИОКР, измеряемый экспертным путем, по шкале от 1 до 7. Бразилия, Индия, Россия получили в 2009 году 3,6 балла по этой шкале. Китай – 4,5; страны «большой семерки» – 4,9; США – 5,8. То есть среди стран – членов БРИКС Россия не выделяется – у нас связи развиты на том же уровне, как в Бразилии или Индии. В Китае ситуация лучше, США – лидер, но наши 3,6 – это в середине шкалы, значит, ситуация не безнадежная.

Если переходить на уровень отдельных мер, то сегодня в России государство реализует одновременно несколько инициатив, направленных на интеграцию бизнеса и науки.

Прежде всего, это программы инновационного развития (ПИР) крупных компаний с государственным участием. 47 компаний уже составили такие планы до 2015 года и теперь должны им следовать. ПИР предполагают обязательное сотрудничество с вузами. То есть, составляя свои программы, компании знали, что нужно определить объемы средств, которые будут направлены вузам для выполнения НИОКР в интересах компаний.

Действительно, из тех компаний, чьи программы утверждены, 96% намереваются финансировать вузы. Однако сотрудничеством это вряд ли можно назвать, потому что совместные НИОКР планируют только 17% компаний. Остальное – это аутсорсинг. Аутсорсинг развивается во всем мире, и это разумный способ оптимизации. Однако расширение сотрудничества, сближение, взаимопонимание через принудительный аутсорсинг вряд ли будут происходить в существенных масштабах.

Компании обязались довести показатель финансирования НИОКР в вузах с прошлогодних 5% от своих общих расходов на НИОКР до 7,5% в 2015 году, то есть нарастить аутсорсинг в полтора раза. В то же время, как

отмечалось выше, госкомпании зависят от бюджетного финансирования их НИОКР, поэтому они, вероятно, в какой-то мере рассчитывают на то, что смогут выполнить свои обязательства за счет финансирования из госбюджета. Правда, гарантий нет, а контролировать компании планируется строго. По крайней мере, Владимир Путин в одной из своих предвыборных статей предложил, что надо жестко привязать оплату труда руководителей компании и ведущих менеджеров с достижением ключевых показателей инновационного развития.

Второй инструмент – это технологические платформы. Согласно официальному определению (из «Порядка формирования перечня технологических платформ», утвержденного решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям 3 августа 2010 года), под технологической платформой «понимается коммуникационный инструмент, направленный на активизацию усилий по созданию перспективных коммерческих технологий, новых продуктов (услуг), на привлечение дополнительных ресурсов для проведения исследований и разработок на основе участия всех заинтересованных сторон (бизнеса, науки, государства, гражданского общества), совершенствование нормативно-правовой базы в области научно-технологического, инновационного развития».

Технологические платформы – новый подход для России, хотя сам инструмент не оригинален и заимствован из опыта Европейского союза. Есть и российская специфика – в частности, вузы должны быть обязательным участником техплатформ. Пока перспективы развития технологических платформ не очень понятны, хотя некоторые проекты, инициированные техплатформами, получили финансирование через различные федеральные целевые программы.

В целом можно предположить, что техплатформам либо придадут особый статус, как многим другим государственным инициативам последнего времени, а вместе с ним – гарантированное бюджетное финансирование, либо каких-либо специальных мер поддержки технологических платформ не будет и они превратятся исключительно в инструмент согласования интересов.

Сейчас мы в начале нового витка кластерной политики, основы которой закладывались Минэкономразвития (МЭР) еще в 2007 году, когда была разработана «Концепция развития кластерной политики в Российской Федерации». В марте 2012 года МЭР объявил конкурс на поддержку 10 пилотных проектов создания кластеров, каждый из которых получит средства из федерального бюджета. Вопрос эффективности прямого бюджетного финансирования кластеров в экспертном сообществе является дискуссионным. Ряд специалистов придерживаются мнения, что помощь государства может быть бесполезной и даже вредной, поскольку кластеры образуются естественным путем. Те, кто считает прямую государственную

поддержку необходимой, обсуждают вопрос о том, на что именно должны выделяться средства – кластерам как объектам инфраструктуры, организациям, размещенным в кластерах (например, малым инновационным предприятиям), либо на проекты, выполняемые в кластерах, в том числе кооперационные.

На данный момент МЭР допускает возможность расходования бюджетных средств (субсидий) на такие цели, как развитие инфраструктуры (транспортной, энергетической, инженерной, жилищной, инновационной, образовательной, социальной, включая материально-техническую базу здравоохранения, культуры и спорта), а также на НИОКР и ряд других видов работ. Таким образом, кластерный подход пока напоминает схему финансирования наукоградов с той разницей, что структура бюджетных статей значительно расширена, однако принцип остался неизменным.

Усиление акцента на субсидии поощряет сложившийся в «инновационном сообществе» менталитет, согласно которому основные ожидания лежат в области получения дополнительных бюджетных средств.

Еще один инструмент, заслуживающий специального внимания, – это сотрудничество вузов и компаний по условиям, определенным в постановлении правительства РФ от 9 апреля 2010 года № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Идея – направить бюджетные средства для выполнения вузами НИОКР, необходимые компаниям, через компании – заказчики работ. Компания должна предоставить 100-процентное софинансирование, из которого, как минимум 20%, должны быть также потрачены на НИОКР. Такая схема – это попытка с двух сторон усилить сотрудничество: компания получает больше возможностей взаимодействовать с вузом и больший контроль над вузом при выполнении заказанных работ.

Проблем при реализации этого постановления правительства, как показывает исследование, проводимое в настоящее время Межведомственным аналитическим центром, оказалось немало. И они в основном связаны с состоянием науки в вузах, кадровыми проблемами, проблемами организации и менеджмента.

Совместная работа еще раз показала, что та наука, которой занимаются в вузах, во многом изолирована, далека от реальных потребностей компаний. Еще одна проблема – дефицит в вузах конструкторов и технологов. Кроме того, по условиям проектов нужно создавать серийное производство. Но технические вузы признаются, что серийную продукцию они делать не умеют или у них нет для этого необходимой инфраструктуры. Неумение объяснимо: в советское время

большинство работало по заказам ВПК, что подразумевает, как правило, изготовление единичных изделий. И это также еще и совершенно другой стиль работы.

Положительный опыт тоже есть. Расширились контакты компаний с вузами, причем в некоторых случаях компании поняли, что вуз-партнер не может сделать для них всю работу, которая им нужна, и стали искать необходимые им компетенции в других вузах. В некоторых случаях даже стали складываться исследовательские консорциумы.

Благодаря более тесному режиму общения компании заинтересовались тем, кто, как и чему учит в университетах-партнерах. Ряд компаний задумались над тем, чтобы предложить вузу новый учебный курс, самостоятельно его составить и даже читать.

Если в целом говорить о мерах принуждения, то пока их результативность весьма дискуссионна. В отсутствие серьезного интереса компаний к инновациям и сотрудничеству с вузами, «принуждение» может лишь замедлить и инвестиции в НИОКР, и формирование связей.

3.2. Приоритетные направления развития науки, техники и технологий в Российской Федерации

Одним из первых «шагов» по пути реформирования экономики в РФ стала разработка приоритетных направлений развития науки, технологий и техники и перечня критических технологий Российской Федерации, окончательный перечень которых был утвержден указом Президента Российской Федерации от 07 июля 2011 года №899.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации

1. Безопасность и противодействие терроризму.
2. Индустрия наносистем.
3. Информационно-телекоммуникационные системы.
4. Науки о жизни.
5. Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники.
6. Рациональное природопользование.
7. Транспортные и космические системы.
8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

Перечень критических технологий Российской Федерации

1. Базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники.
2. Базовые технологии силовой электротехники.
3. Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии.
4. Биомедицинские и ветеринарные технологии.
5. Геномные, протеомные и постгеномные технологии.
6. Клеточные технологии.
7. Компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий.
8. Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии.
9. Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.
10. Технологии биоинженерии.
11. Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств.
12. Технологии доступа к широкополостным мультимедийным услугам.

13. Технологии информационных, управляющих, навигационных систем.
14. Технологии наноустройств и микросистемной техники.
15. Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику.
16. Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов.
17. Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов.
18. Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем.
19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращению и ликвидации ее загрязнения.
20. Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи.
21. Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
22. Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний.
23. Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта.
24. Технологии создания ракетно-космической, и транспортной техники нового поколения.
25. Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.
26. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.
27. Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе.

В рамках данных направлений были сформированы Федеральные целевые программы.

18 июня 2012 года Президент РФ подписал Указ №878 «О Совете при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России».

Состав Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России:

Путин В.В. – Президент Российской Федерации (председатель Совета)

Медведев Д.А. – Председатель Правительства Российской Федерации и др. (всего 32 человека).

Основными задачами Совета являются:

а) подготовка предложений Президенту Российской Федерации по определению основных направлений и механизмов модернизации экономики и инновационного развития России, включая разработку мер государственной поддержки в данной сфере деятельности;

б) координация деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, предпринимательского и экспертного сообществ в области модернизации экономики и инновационного развития России;

в) определение приоритетных направлений, форм и методов государственного регулирования в целях модернизации экономики и инновационного развития России;

г) координация деятельности по реализации проекта создания и обеспечения функционирования территориально обособленного комплекса для развития исследований и разработок и коммерциализации их результатов.

В настоящее время Совет имеет в своем составе 7 рабочих групп:

- рабочая группа № 1 (сводная);
- рабочая группа № 2 (энергоэффективность);
- рабочая группа № 3 (ядерные технологии);
- рабочая группа № 4 (стратегические компьютерные технологии и программное обеспечение);
- рабочая группа № 5 (медицинская техника и фармацевтика);
- рабочая группа № 6 (космос и телекоммуникации);
- рабочая группа № 7 (консультативная);
- рабочая группа № 8 (институты развития и Фонд «Сколково»).

Несмотря на предпринимаемые шаги со стороны государства лидирующие позиции России в области разработок относящихся к сфере критических технологий, по оценкам экспертов РАН, в настоящее время имеются в достаточно узких технологических направлениях (Таблица 3.3.).

Таблица 3.3.

Состояние исследований и разработок в области критических технологий Российской Федерации

Критические технологии	Соответствие мировому уровню
Информационно-телекоммуникационные системы	
Технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления	1
Технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации	1
Технологии распределенных вычислений и систем	1
Технологии производства программного обеспечения	3
Технологии создания электронной компонентной базы	1
Биоинформационные технологии	2

Критические технологии	Соответствие мировому уровню
Индустрия наносистем и материалы	
Нанотехнологии и наноматериалы	1
Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров	2
Технологии создания и обработки кристаллических материалов	2
Технологии мехатроники и создания микросистемной техники	1
Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов	2
Технологии создания биосовместимых материалов	3
Технологии создания мембран и каталитических систем	3
Живые системы	
Технологии биоинженерии	3
Клеточные технологии	1
Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии	3
Биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных	2
Геномные и постгеномные технологии создания лекарственных средств	2
Технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания	2
Рациональное природопользование	
Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы	3
Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы	3
Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф	2
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов	2
Технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи полезных ископаемых	2
Энергетика и энергосбережение	
Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом	3
Технологии водородной энергетики	3
Технологии производства топлив и энергии из органического сырья	1
Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии	2
Технологии новых и возобновляемых источников энергии	1
Транспортные и авиационно-космические технологии	
Технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники	2
Технологии создания и управления новыми видами транспортных систем	1
Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем	1

1 –разработки в целом уступают мировому уровню и лишь в отдельных областях уровень сопоставим;

2 –разработки в целом соответствуют мировому уровню;

3 – уровень разработок соответствует мировому, а в отдельных областях Россия лидирует.

Несмотря на меры предпринимаемые государством в ряде областей отставание России от мировых лидеров даже увеличилось в связи с исчерпанием имевшихся ранее научных заделов и отсутствием условий для полноценного развития новых направлений. Это отставание в основном обусловлено неразвитостью механизмов коммерциализации

технологий, что не позволяет осуществить прорыв на важнейших направлениях глобального инновационного развития и усилить позиции России на высокотехнологичных рынках.

Сегодня российский сектор науки и высоких технологий, в значительной мере, генерирует идеи и, частично, элементы технологических решений, которые доводятся до готовых комплексных решений в странах- конкурентах России, а затем импортируются обратно вместе с оборудованием.

В целях создания условий, обеспечивающих сохранение научно-технического потенциала указом Президента Российской Федерации от 27 апреля 1992 года № 426 создан Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ). Фонд является самоуправляемой государственной некоммерческой организацией в форме федерального учреждения, находящегося в ведении Правительства Российской Федерации. В качестве представителя государства, Фонд обеспечивает целевую, адресную, диверсифицированную поддержку передовых групп ученых вне зависимости от того, к какому ведомству они относятся. Поддержка инициативных научно-исследовательских работ по всем основным направлениям фундаментальной науки осуществляется строго на конкурсной основе по результатам проведенной всесторонней экспертизы.

Ежегодно к оценке конкурсных проектов Фонд привлекает около 3 000 экспертов, которые проводят 65-70 тысяч экспертиз. В РФФИ широко используются современные информационные технологии, благодаря чему от 75 до 100% экспертиз проводится в режиме on-line, что позволяет привлекать экспертов из всех регионов России.



Рис. 3.4. Организации экспертизы в РФФИ

В соответствии с решением Правительства Российской Федерации, начиная с 1997 года, в РФФИ ежегодно направляется 6% ассигнований, предусмотряемых в федеральном бюджете на финансирование

фундаментальных исследований и содействие научно-техническому прогрессу.

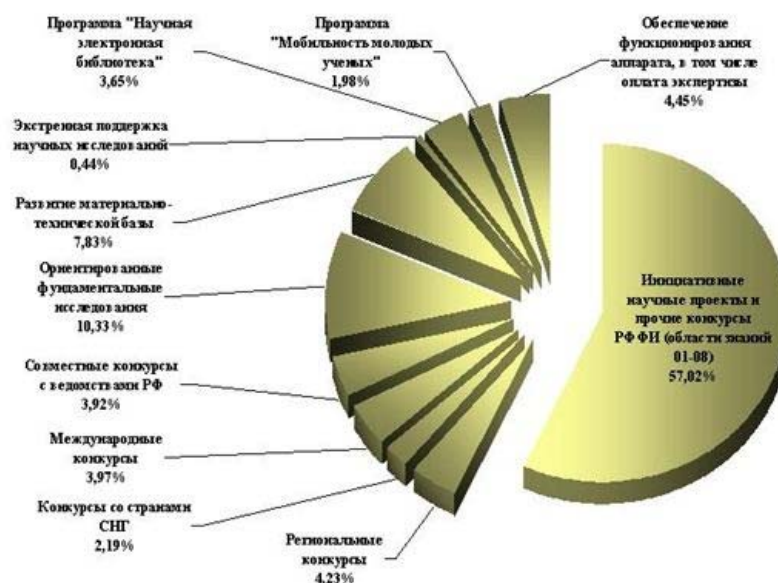


Рис. 3.5. Распределение бюджета РФФИ между направлениями деятельности в 2009 г.

Гранты РФФИ предоставляются в виде субсидий юридическим лицам на безвозмездной и безвозвратной основе для целевого использования.

Распределение средств между различными видами деятельности РФФИ ежегодно утверждается Советом Фонда. Основная часть средств Фонда (более 70%) направляется на финансирование инициативных научных проектов, выполняемых небольшими научными коллективами (до 10 человек) или отдельными учеными (распределение бюджетных средств РФФИ в 2009 г. см. рис. 3.4.). Инициативный проект финансируется не более трех лет. На рисунке 3.5. представлено распределение средств между областями знания в 2009 г.

С 2004 г. РФФИ проводит конкурсы ориентированных фундаментальных исследований, которые, по сути, являются поисковыми работами, имеющими перспективы коммерциализации.

Целевые фундаментальные исследования в интересах федеральных ведомств являются одним из актуальных направлений в деятельности РФФИ. Они соответствуют, в том числе, и тем направлениям, которые определены в перечне приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации утвержденных указом Президента Российской Федерации от 07 июля 2011 года №899.

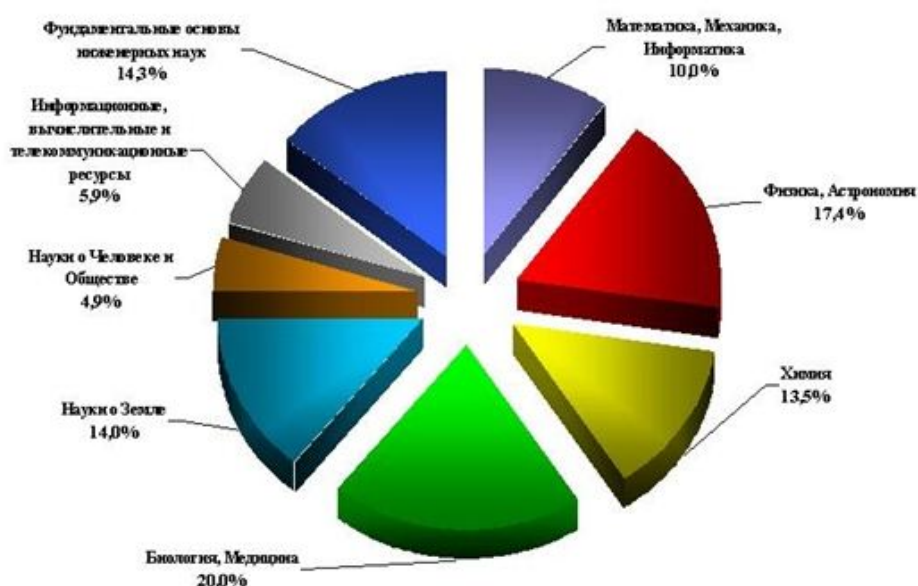


Рис. 3.6. Распределение бюджета РФФИ между областями знания в 2009 г.

Следует отметить некоторое улучшение ситуации в сфере науки и технологий, связанное с ростом бюджетного финансирования исследований и разработок. Возросшая активность научно-технической деятельности в России создает условия для ускоренного развития важнейших технологических направлений и реализации на их основе ряда высокотехнологичных рыночных продуктов, конкурентоспособных на внутреннем и мировом рынках.

Из «Перечня» критических технологий в прогнозном научно-технологическом развитии России до 2030 г. наибольшее значение имеют следующие технологии, по которым Россия занимает ряд ведущих позиций:

- базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии;
- технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- технологии обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений;
- технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф;
- технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники.

Критические технологии, по которым необходима постановка дополнительных фундаментальных и поисковых исследований применительно к задачам машиностроительного (в том числе приборостроительного) комплекса:

- нанотехнологии и технологии создания наноматериалов;
- технологии производства металлов и сплавов со специальными свойствами, используемых при производстве вооружения и военной техники;
- технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов;
- технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии;
- технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания.

В перспективе Россия может достичь 5-10% доли на рынках высокотехнологичных товаров и интеллектуальных услуг по 8-10 позициям, включая:

- ядерные технологии;
- авиастроение;
- программное обеспечение;
- вооружения и военная техника;
- образовательные услуги;
- космические услуги и производство ракетно-космической техники.

Наряду с этим Россия может занимать ведущие позиции в фундаментальных и прикладных научных разработках и связанных с ними технологиях (ИТ, нано-, биотехнологии и т.д.).

3.3. Основные направления инновационно-технологического развития науки, экономики и образования в России

Простые агрегированные показатели недостаточно точно отражают происходящее в науке, экономике и образовании. Например, индекс наукоемкости не способен дать вполне адекватное представление об эффективности исследований и разработок. Значения индекса могут быть высокими, но при этом большая часть научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) может давать отрицательный результат, либо результат, который на текущий момент не подлежит коммерциализации, а валовая продукция при этом создается за счет товаров, изготовленных на основе предшествующих и заимствованных разработок. Это касается эффективности инновационной деятельности в целом.

Основным негативным моментом в инновационном развитии экономики России остается ориентация национальной инновационной системы в основном на потребление, а не производство новых технологических инноваций, что является очевидной угрозой технологической и экономической безопасности. Российская инновационная система оказалась встроенной в глобальные цепочки добавленной стоимости, которые контролируются иностранными производителями.

При этом можно выделить четыре основных направления инновационно-технологического развития экономики России:

- 1) создание условий для инновационно-технологического развития;
- 2) развитие науки и ее ориентация на решение задач инновационно-технологического развития;
- 3) развитие кооперации между научно-исследовательским и предпринимательским секторами, совершенствование механизмов диффузии и передачи знаний;
- 4) поддержка прорывных направлений инновационно-технологического развития.

Первая задача должна в основном решаться в рамках инвестиционной стадии. Полное решение второй и третьей задач нельзя привязать к определенной стадии, на каждой из них надо последовательно решать их определенные элементы. Отметим, что на инвестиционной стадии в традиционном понимании нет потребности в сильной науке, тем более в фундаментальных исследованиях. Но сильная наука не возникает на пустом месте, недостаточное инновационно-технологическое развитие на данной стадии означает отсутствие важной предпосылки перехода к развитию на основе собственных инноваций. Поддержка прорывных направлений инновационно-технологического развития должна главным

образом осуществляться на стадии, основанной на национальных нововведениях.

Добавим, что в последние годы в России активно развивались элементы инновационной инфраструктуры. Создан Центр разработки и коммерциализации новых технологий который занимается созданием уникального для России центра «Сколково». В настоящее время Фонд «Сколково» включает технопарк, Сколковский институт науки и технологий, пять кластеров (информационных, биомедицинских, энергоэффективных, ядерных и космических технологий), разрабатывающих инновационные проекты.

Отдельно необходимо отметить новые подходы к развитию научно-исследовательской и инновационной деятельности в образовании и требуют системных изменений в деятельности большинства российских вузов. Это нашло свое отражение в Концепции развития научно-исследовательской и инновационной деятельности в учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации на период до 2015 года.

Такие изменения касаются как организации исследований на базе вузов, так и содержания и методов образовательного процесса. Если раньше серьезные научные исследования и разработки были прерогативой узкой группы талантливых ученых из числа профессорско-преподавательского состава и некоторых аспирантов, то сейчас они должны стать реальной частью работы всех преподавателей и большинства студентов.

В связи с этим возрастает роль участия студентов в прикладных исследованиях, которые дают возможность:

- 1) освоить способ обновления производственных и отраслевых технологий;
- 2) «увидеть» свою будущую профессиональную деятельность в динамике, осмыслить значимость освоения фундаментальных знаний;
- 3) получить опыт интенсивной практической работы (в случае, если исследования проводятся непосредственно на производстве);
- 4) уточнить направление своей будущей профессиональной деятельности, профиль получаемого образования;
- 5) более осмыслено, целенаправленно и мотивированно работать с информацией.

Международный опыт, как и опыт ведущих российских исследовательских университетов, позволяет обозначить ожидаемые шаги и возможные действия российских вузов по развитию научно-исследовательской и инновационной деятельности в следующих основных направлениях: организация научных исследований и система управления; кадровая политика; взаимодействие с реальным сектором и академической наукой; модернизация образовательного процесса.

3.4. Методологические аспекты проведения научных исследований в рамках образовательного процесса в Университете ИТМО

Общая схема проведения научного исследования в ходе подготовки магистерской диссертации. Основные требования к магистерской диссертации. Процесс научного исследования в ходе подготовки магистерской диссертации: подготовка к проведению исследований, планирование исследований, проведение исследований, оформление результатов исследования, представление и защита результатов исследования. Показатели научной новизны научных результатов, оценки теоретической значимости, формы проявления практической значимости и обоснование достоверности научных результатов.

Варианты индивидуальных заданий

Самостоятельно собрать и проанализировать информацию. Сделать выводы и заключения. Провести критическую оценку полученной информации. На практическом занятии выступить с докладом (подготовить презентацию) или активно участвовать в дискуссии или ролевой игре по предложенным темам:

1. Классификация задач научного исследования (задачи анализа и задачи синтеза).
2. Этапы проведения научного исследования в ходе подготовки магистерской диссертации.
3. Обоснование актуальности темы и проблемы исследований. Актуальность в научном и прикладном аспекте.
4. Формулировка цели и задач исследования. Определение объекта и предмет исследований. Привести различные примеры формулировок и провести их критический анализ.
5. Элементы новизны научных исследований. Основные показатели новизны научных результатов. Обоснование новизны.
6. Уровни теоретической значимости научных исследований. Оценки теоретической значимости.
7. Аргументы практической значимости результатов исследования. Формы проявления практической значимости.
8. Обоснование достоверности научных исследований. Достижение достоверности и обоснованности научных результатов.
9. Виды проведения занятий в интерактивных формах: тренинг, деловая игра, кейс-метод, метода группового решения творческих задач и т.д.
10. Организация деловой игры по теме «Современные проблемы науки и техники» (выбор темы, написание сценария, проведение деловой игры).

11. Организация и проведение тренинга в рамках дисциплины «Современные проблемы науки и техники».
12. Правила подачи заявки на конкурс (ФЦП, грант РФФИ и т.д.) на проведение научных исследований в рамках темы магистерской диссертации.
13. Анализ конкурсной документации по проведению конкурсного отбора на предоставление грантов (ФЦП, РФФИ, Династия и т.д.)

Домашние задания

1. Работа с каталогом и электронными ресурсами библиотеки Университета ИТМО. Подобрать литературу и оформить библиографический список по одному из разделов дисциплины (не менее 20 источников, с учетом статей).
2. Работа в Российской национальной библиотеке, Центральной городской публичной библиотеке им. В.В. Маяковского или библиотеке Академии наук. Подобрать литературу и оформить библиографический список по одному из разделов дисциплины (не менее 20 источников, с учетом статей).
3. Изучение научных баз данных в Интернете. Подготовить отчет по электронным ресурсам.
4. Изучение закона о науке. Представить на практическом занятии основные положения закона. Подготовить кейсы (проблемы) по закону о науке и организовать дискуссию на практическом занятии.
5. Подобрать литературу и оформить библиографический список по теме магистерской диссертации. Список должен включать источники из российских и иностранных периодических изданий.
6. Провести поиск периодических научных изданий по заданной теме. Подготовить отчет по результатам поиска.
7. Провести поиск российских и международных научных конференций по заданным направлениям. Подготовить отчет по результатам поиска.
8. Провести поиск конкурсов на гранты. Подготовить отчет, включающий требования к участникам и правила оформления заявок.
9. Провести поиск вариантов научных стажировок. Подготовить отчет по результатам поиска.
10. Составить глоссарий основных терминов и определений по дисциплине «Современные проблемы науки и техники».
11. Составить аннотации статей из российских и иностранных периодических изданий по тематике дисциплины (не менее 8 аннотаций).
12. Составить аннотации статей из иностранных периодических изданий по тематике дисциплины на английском языке (не менее 3 аннотаций).
13. Написать эссе по одному из разделов дисциплины.

- 14.Подготовить выступление на практическом занятии по теме дисциплины.
- 15.Подготовить командное выступление на практическом занятии по теме дисциплины. Распределить роли между участниками команды и подготовить сценарий выступления.
- 16.Подготовить выступление на практическом занятии по теме магистерской диссертации в контексте современных проблем науки и техники.
- 17.Подготовить, организовать и провести дискуссию по одной из проблем современной науки и техники на практическом занятии.
- 18.Подготовить сценарий и провести деловую игру по одной из проблем современной науки и техники на практическом занятии.
- 19.Подготовить выступление по теме «Технологии обучения (кейс-метод, тренинг, дискуссия, мозговой штурм, методы группового решения творческих задач, деловая игра и т.д.)»
- 20.Составить план научных исследований по магистерской диссертации.

Критерии оценивания выполнения домашнего задания: качественно и в срок выполненное домашнее задание - 10 баллов.

Темы рефератов

1. Цели и задачи науки в современном мире в контексте глобализации научных исследований.
2. Классификация наук. Условность разделения на фундаментальные и прикладные научные исследования.
3. Сравнительный анализ методов научного познания.
4. Историческая трансформация понятия «техника».
5. Основные закономерности развития науки, техники и технологии на современном этапе.
6. Соотношение науки, техники и технологии.
7. История космологии. Космогонические мифы и гипотеза Большого взрыва.
8. Свойства пространства и времени.
9. Проблема темной материи.
10. Антропный принцип Вселенной.
11. Хаос. Детерминированные и недетерминированные процессы.
12. Синергетика. Типы самоорганизации. Примеры самоорганизации в живой и неживой природе.
13. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения.
14. Перспективы развития нанотехнологий и наноматериалов.

15. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией.
16. Фуллерены и фуллереноподобные структуры – основа перспективных материалов.
17. Математическая теория катастроф.
18. Учение о фракталах.
19. Эксперименты в области физики высоких энергий.
20. Проблемы энергетики.
21. Современные проблемы в области естественных наук.
22. Современные проблемы математики, разработка и создание перспективных технологий на их основе.
23. Проблемы физических наук, разработка технологий на базе новых физических принципов.
24. Проблемы химических наук и материаловедения.
25. Проблемы биологии и биотехнологии.
26. Состояние машиностроения и машиностроительных технологий и перспективы их развития.
27. Проблемы и перспективы создания интегрированных автоматизированных производств.
28. Проблемы и перспективы создания макро- и микроробототехнических, мехатронных комплексов.
29. Современные задачи диагностики микро- и наноструктур.
30. Современные проблемы совершенствования измерительных технологий, технологий контроля и диагностирования.

Критерии оценивания подготовки и защиты рефератов

Объем реферата – не менее 30 стр. Обязательно использование не менее 10 отечественных и не менее 5 иностранных источников, опубликованных за последние 5 лет. Обязательно использование электронных баз данных: информационно-интерактивный портал «Российские электронные библиотеки» <http://www.elbib.ru/>, Российская государственная библиотека <http://www.rsl.ru/>.

Процедура защиты реферата: выступление с устной презентацией результатов с последующим групповым обсуждением; в ходе защиты студент должен лаконично сформулировать проблему, корректно изложить смысл основных научных идей и дать их теоретическое обоснование (объяснение), логично и последовательно изложить материал реферата, сформулировать выводы, уверенно отвечать на вопросы, возникающие при групповом обсуждении реферата.

Критерии оценивания:

- соответствие содержания заявленной теме, отсутствие в тексте отступлений от темы – 0,5 балла;

- соответствие целям и задачам дисциплины – 0,5 балла;
- постановка проблемы, корректное изложение смысла основных научных идей, их теоретическое обоснование и объяснение – 0,5 балла;
- логичность и последовательность в изложении материала – 0,5 балла;
- способность к работе с литературными источниками, Интернет-ресурсами, справочной и энциклопедической литературой – 0,5 балла;
- объем исследованной литературы и других источников информации – 0,5 балла;
- владение иностранными языками, использование иностранных источников – 0,5 балла;
- способность к анализу и обобщению информационного материала, степень полноты обзора состояния вопроса – 0,5 балла;
- умение извлекать информацию, соответствующую поставленной цели, и перераспределять информацию – 0,5 балла;
- навыки планирования и управления временем при выполнении работы – 0,5 балла;
- обоснованность выводов – 0,5 балла;
- наличие авторской аннотации к реферату – 0,5 балла;
- правильность оформления (соответствие стандарту, структурная упорядоченность, ссылки, цитаты, таблицы и т.д.) – 0,5 балла;
- соблюдение объема, шрифтов, интервалов (соответствие оформлению правилам компьютерного набора текста) – 0,5 балла.

Максимальное количество баллов – 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящем учебном пособии крупнейшие достижения современной науки, конечно же, не составляют их полный перечень. За пределами пособия остались многие, не менее значительные исследования, которые вместе, с рассмотренными выше, составляют облик современной науки и определяют траектории ее будущего развития. К ним можно отнести математическую теорию катастроф, учение о фракталах, эксперименты в области физики высоких энергий, проблемы энергетики и многие другие.

Основная задача дисциплины «Современные проблемы науки и техники» не просто раскрыть смысл понятий и определений, а показать, как эти понятия проявляются в живой, развивающейся, современной науке. Поэтому довольно много места в пособии занимают вопросы, посвященные истории тех или иных научных достижений, тема авторского приоритета, фотографии ученых, заложивших основы рассматриваемых наук. В пособии проанализировано современное состояние науки, техники и технологий в РФ, а также инновационная образовательная деятельность в Университете ИТМО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириленко Г. Г., Шевцов Е. В. Краткий философский словарь. - М.: Слово, АСТ, 2002. - 480 с.
2. Физический энциклопедический словарь. А.М. Прохоров.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.
3. Новый политехнический словарь. Гл. ред. Ишлинский А.Ю.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 672 с.
4. Большая советская энциклопедия: В 30 т.- М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.
5. Ожегов С. И. Словарь русского языка. Под ред. Н.Ю.Шведовой. - 20-е изд., стереотип., М.: Русский язык, 1989. - 750 с.
6. Ушаков Д.Н. Толковый словарь русского языка: В 4 т. – М.: АСТ, 2009.- 1280 с.
7. Браже Р.А. Современные проблемы науки: Учеб. пособие. - Ульяновск, 2008. – 143 с.
8. Наука и образование: интеллектуальные ресурсы России в эпоху глобальных трансформаций / А. И. Ракитов [и др.]; РАН ; ИНИОН . - М.: Наука, 2009 . - 238, [2] с.: ил. - 285 лет Российской академии наук. - Библиогр.: с. 231-237. - ISBN 978-5-02-036798-2.
9. Кожевников Н.М. Концепции современного естествознания. – СПб.: Лань, 2009. – 384 с. – Режим доступа: <http://lib.ifmo.ru/cgi-bin/zgate?present+9982+default+1+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus>
10. Горбачев В.В., Калашников Н.П., Кожевников Н.М. Концепции современного естествознания. Интернет-тестирование базовых знаний. – СПб.: Лань, 2010. – 208 с. – Режим доступа: <http://lib.ifmo.ru/cgi-bin/zgate?present+9982+default+2+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus>
11. Рузавин Г. И. Философия и методология науки (под ред. Купцова В.И.) - М.: АСПЕКТ ПРЕСС, 1996. - 551 с. серия научного познания: рек. Учебно-методическим центром "Профессиональный учебник" в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов высших учебных заведений / Г. И. Рузавин . - М.: ЮНИТИ- ДАНА, 2009 . – 287с.
12. Баскаков А. Я., Туленков Н. В. Методология научного исследования: Учеб. пособие. - Киев, 2004. - 216 с.
13. Куликов С. Б. Основы философского анализа науки: методология, смысл и цель. - Томск, 2005. - 184 с.
14. Рузавин Г. И. Концепции современного естествознания: учебник / Г. И. Рузавин . - М.: Проспект, 2009 . - 279 с.
15. Философия и методология науки (под ред. Купцова В.И.) - М.: АСПЕКТ ПРЕСС, 1996. - 551 с.

16. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН от 23.08.96 N 127-ФЗ (ред. от 28.07.2012 с изменениями, вступившими в силу 10.08.2012) "О НАУКЕ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ".
17. Ясницкий Л. Н., Данилевич Т. В. Современные проблемы науки: Учебное пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 294 с.
18. Никифоров А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 2006. – 392 с.
19. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: учебное пособие. / А. И. Половинкин. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2007. – 368с.
20. Чернышов Е. А. Основы инженерного творчества в дипломном проектировании и магистерских диссертациях: учебное пособие/ Е.А. Чернышов. – М.: Высшая школа, 2008. – 254с.
21. Кнорринг В.Г. История и методология науки и техники. Информационная сфера человеческой деятельности с древнейших времен до начала XVI века: учеб. пособие / В.Г. Кнорринг. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 352 с.
22. Кнорринг В.Г. История и методология науки и техники. Информационная сфера человеческой деятельности в эпоху научной революции XVI - начала XVII веков: учеб. пособие / В.Г. Кнорринг. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 412 с.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии, в прошлом кафедра часового производства и приборов точной механики, была создана одновременно с основанием университета, который ведёт свою историю от образования в 1900 г. ремесленного училища цесаревича Николая. Основателем кафедры является Норберт Болеславович Завадский – первый заведующий механико-оптического отделения этого училища.

В 1920 г. после революции механико-оптическое отделение было реорганизовано в техникум точной механики и оптики, который с 1925 г. начал подготовку инженеров-приборостроителей. В дальнейшем техникум был преобразован и уже в 1933 г. стал институтом точной механики и оптики. В течение этого времени кафедрой заведовал профессор Н.Б. Завадский.

В 1930 кафедра получила название Приборов точной механики и ее возглавил Лаврентий Павлович Шишелов. В этот период времени на кафедре читались дисциплины «Теория часовых механизмов», «Электроизмерительные приборы» и «Механические приборы». В 1935 г. из состава кафедры выделилось направление гироскопических устройств и навигационных приборов. В 1940 г. на кафедре защитил кандидатскую диссертацию Захар Маркович Аксельрод, впоследствии доктор технических наук, возглавлявший кафедру во время войны. После войны кафедра выпускала специалистов по часовому производству и производству точного мерительного инструмента. На кафедре читались курсы «Приборы времени», «Теория и проектирование приборов времени», «Приборы для измерения малых промежутков времени», «Приборы для измерения скоростей и ускорений», «Тахометры», «Основы конструирования приборов точной механики».

В 1976 г. кафедру возглавил профессор Борис Александрович Арефьев, известный специалист в области автоматического управления и газовых опор. В это время на кафедре производилась подготовка специалистов по

специальности «Приборы точной механики» со специализациями «Приборы времени», «Приборы для измерения длин и углов» и «Приборы контроля размеров».

С 1985 года кафедрой заведовал основатель магниторезонансного класса изображений профессор Владислав Александрович Иванов. В связи с развитием техники и потребностью в выпуске инженерных кадров по разработке и эксплуатации магнитно-резонансных томографов с 1992 года кафедра начала подготовку инженеров по специализации «Компьютерная томография» и была переименована в кафедру Измерительных технологий и компьютерной томографии.

С 2005 года кафедру возглавляет доктор технических наук, профессор Мария Яковлевна Марусина, являющаяся председателем УМК по специальности 200101 «Приборостроение» УМО ВУЗов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и оптотехники. На кафедре ведутся научно-исследовательские работы по следующим направлениям: измерительные технологии, теоретико-групповые методы анализа и синтеза информационно-измерительных систем, метрологическое обеспечение, приборы точной механики, многофункциональное приборостроение для промышленных систем управления, методы неразрушающего контроля РКТ, томографические методы диагностики объектов, разработка и создание мини ЯМР-томографа.

В настоящее время кафедра осуществляет 2-х уровневую инженерную подготовку (бакалавр – 4 года и магистр – 2 года) по трем направлениям подготовки.

по направлению 12.00.01 ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

12.03.01 «Приборостроение» (бакалавр)

12.04.01 «Информационно-измерительные комплексы» (магистр)

12.04.01 «Томографические методы диагностики» (магистр)

по направлению 27.00.01 СТАНДАРТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

27.04.01 «Метрологическое обеспечение приборостроительного производства» (магистр)

по направлению 24.00.01 РАКЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И КОСМОНАВТИКА

24.04.01 «Контроль качества изделий ракетно-космических комплексов» (магистр)

Кафедра имеет персональную страничку в Интернете:
<http://faculty.ifmo.ru/tomograph>

Марусина Мария Яковлевна

Современные проблемы науки и техники

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе