



# Проблемы современной фундаментальной науки



**Учебное пособие**

Авторы

**Л.В. ЧЕРКЕСОВА, Б.А. АКИШИН, Т.Г. НИКИШИНА,  
А.В. ГАЛАБУРДИН, С.И. КАРПОВА,  
Н.В. КОЛЕННИКОВА, О.Н. МАНАЕНКОВА**

2013

## Аннотация

В предлагаемом учебном пособии подробно излагаются основные проблемы современной фундаментальной науки, которая традиционно соотносится с естествознанием.

В задачи фундаментальной науки *не входит скорая и неперенная практическая реализация*, в чём и состоит коренное отличие её от прикладной науки. Однако результаты фундаментальных исследований находят актуальное применение и постоянно корректируют развитие любой технической дисциплины. Любые научные открытия и новые технологии непременно опираются на положения фундаментальной науки по определению. Примером тому могут служить *нанотехнологии*, основа которых сравнительно недавно, по срокам развития науки, была заложена многими направлениями фундаментальных исследований.

Любые достижения фундаментальной науки призваны служить на благо человечеству. Технический сервис, как сфера услуг, необходимых людям в повседневной жизни, включает воспроизводство самых разнообразных видов современных технологий, основывающихся на новейших технических и технологических достижениях, которые ещё вчера считались невозможными и относящимся к сфере научной фантастики.

Рецензенты: Г.П. Синявский, М.Ю. Звездина

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ОСОБЕННОСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ.....	5
Приоритетные направления развития фундаментальной науки.....	7
Глава 1. Поиск новой физики в Большом адронном коллайдере.....	10
Глава 2. Нанотехнологии и их перспективы в России и в мире.....	15
2.1 История возникновения нанотехнологий.....	16
2.2 Фундаментальные основы нанотехнологий.....	18
2.3 Новейшие достижения в области наноматериалов.....	19
2.4 Перспективы наноэлектроники и нанокomпьютеров.....	21
2.5 Индустрия нанотехнологий и отношение к ним общества.....	22
Глава 3. Информатика XXI века как фундаментальная наука.....	24
3.1 Социальная информатика.....	26
3.2 Биологическая информатика.....	36
3.3 Математическая информатика.....	39
3.4 Химическая информатика.....	47
3.5 Физическая информатика.....	50
Глава 4. Новые поколения компьютерной техники.....	55
4.1 Молекулярный компьютер.....	56
4.2 Нанотехнологии и нанокomпьютеры.....	57
4.3 Нейронные компьютеры (нейрокomпьютеры).....	59

4.4 Квантовые компьютеры.....	60
4.5 Оптические компьютеры .....	62
4.6 Вероятностный компьютер.....	65
4.7 Биологические компьютеры .....	67
Глава 5. Искусственный интеллект .....	73
5.1 Направления развития экспертных систем.....	79
5.2 Перспективные направления искусственного интеллекта .....	85
Прогнозы на ближайшее будущее .....	89
Темы рефератов для самостоятельной исследовательской работы .....	91
Контрольные вопросы по изучаемому курсу .....	92
Тестовые задания по изучаемому курсу.....	95
Алфавитный указатель .....	104
Библиография .....	112
Приложения .....	115

## ВВЕДЕНИЕ. ОСОБЕННОСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ

**Фундаментальная наука** – это область познания, занимающаяся теоретическими и экспериментальными научными исследованиями основополагающих явлений природы – феноменов, которых только способен постичь разум человека. Её цель – поиск закономерностей, отвечающих за форму, строение, состав, структуру и свойства явлений природы, протекание и развитие обусловленных ими процессов. Фундаментальная наука затрагивает базовые принципы философского мировоззрения и миропонимания, что включает в себя как гуманитарные, так и естественнонаучные дисциплины, и служит расширению теоретических, концептуальных представлений об окружающем мире, о мироздании как таковом во всех его проявлениях, в том числе и охватывающих сферы интеллектуальные, духовные и социальное.

В задачи фундаментальной науки не входит скорая практическая реализация её достижений. Она занимается перспективными исследованиями, отдача от которых наступает **не сразу**, в чём и состоит её коренное отличие от прикладной науки.

Однако результаты фундаментальных всегда актуальны исследований находят применение, постоянно корректируют развитие любой области науки, что вообще немыслимо без развития фундаментальных разделов — любые открытия и технологии непременно опираются на положения фундаментальной науки по определению.

В случае противоречий новых научных открытий принятым на данный момент «классическими» представлениям, не только стимулируется модификация фундаментальной науки, но и требуются новые глубокие исследования для полноценного понимания процессов и механизмов, лежащих в основе того или иного феномена, для дальнейшего совершенствования методов или принципов их изучения.

Традиционно фундаментальные исследования более соотносятся с естествознанием, в то же время все формы научного познания опираются на системы обобщений, являющихся их основой; таким образом, и все гуманитарные науки обладают или стремятся обладать аппаратом, способным охватить и сформулировать общие фундаментальные принципы исследований и методы их истолкования.

Статус фундаментальных исследований ЮНЕСКО присваивает работам, которые способствуют открытию законов природы, пониманию механизмов взаимодействия между явлениями и объектами реальной действительности.

К основным функциям фундаментальных исследований относится — познавательная деятельность; непосредственной задачей является получение конкретных представлений о законах природы, которые обладают характерной общностью и стабильностью. К основным признакам фундаментальности относят:

- а) концептуальную универсальность,
- б) пространственно – временную общность.

Тем не менее, это не позволяет сделать вывод, что отличительной особенностью фундаментальности является отсутствие практической применимости, поскольку в процессе решения фундаментальных проблем закономерно открываются новые возможности и методы решения практических задач.

Государство, обладающее достаточным научным потенциалом, и стремящееся к его развитию, непременно способствует поддержке и развитию фундаментальных исследований, несмотря на то, что они зачастую не являются рентабельными.

Так, статья 2 Федерального закона РФ от 23 августа 1996 года за № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» даёт такое определение фундаментальным исследованиям: «Экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей природной среды».

Самым ярким примером, иллюстрирующим характерные особенности фундаментальной науки, может служить история исследований, связанных со строением материи, в частности, строения атома. Практическую реализацию эти исследования нашли только через сотни лет после зарождения начальных представлений атомизма, и через десятки — после оформления теории строения атома.

Подобный процесс наблюдается в каждой области знаний, когда от первичного эмпирического субстрата, через гипотезу, эксперимент и теоретическое его осмысление, при соответствующем их развитии, расширении и совершенствовании методологии, наука приходит к определённым постулатам.

Эти положения способствуют поиску и формированию новых количественно выраженных постулатов, являющихся теоретической основой для дальнейших исследований, что и позволяет сформировать задачи прикладной науки.

Совершенствование инструментальной базы, как теоретической, так и экспериментальной, — практической, служит совершенствованию метода. Любая фундаментальная дисциплина и любое прикладное направление способны взаимно участвовать в развитии понимания и решения самостоятельных и общих задач: прикладная наука расширяет возможности исследовательского инструментария, как практического, так и теоретического, фундаментальной науки, которая, в свою очередь, результатами своих исследований, предоставляет теоретический инструмент и основу для развития прикладной по соответствующей тематике. В этом кроется одна из основных причин необходимости поддержки фундаментальной науки, которая, как правило, не обладает достаточными возможностями самофинансирования.

Быстрое развитие техники и технологий (в отношении реализации полученных и давно «предсказанных» фундаментальной наукой результатов) создаёт условия для такой классификации научных исследований, когда новое их направление, принадлежащее к области междисциплинарных исследований, расценивается как успех освоения технологической базы или наоборот, представляется только в виде линии развития — фундаментальных наук. В то же время, эти научные исследования обязаны своим происхождением фундаментальным наукам, но в настоящее время уже имеют в большей степени отношение к прикладным исследованиям, и лишь косвенно служат развитию фундаментальной науки.

Примером тому могут служить *нанотехнологии*, основа которых сравнительно недавно, по срокам развития науки, была заложена, в числе многих других направлений, именно фундаментальными исследованиями в области естественных наук — многих разделов физики, химии, биологии, математики, информатики, электроники, синергетики, теории сложных систем, системного анализа. Нужно особо упомянуть также коллоидную химию, дисперсные системы и диссипативные структуры. Однако это не значит, что лежащие в основе той или иной новой технологии фундаментальные исследования должны быть полностью подчинены ей, поглотив обеспечение других направлений, которые призваны заниматься фундаментальными исследованиями достаточно широкого диапазона.

## Приоритетные направления развития фундаментальной науки

Перед современным российским обществом стоит задача инновационного развития. Под **инновациями** понимается создание принципиально новых технологий, которые смогут обеспечить России XXI века достойное место в мировом сообществе. При этом главным конкурентным преимуществом страны являются уникальные знания или технологии. Условием эффективного использования таких уникальных знаний и технологий является концентрация научного потенциала, финансовых и материально-технических ресурсов на **приоритетных направлениях развития науки и техники**. Под ними понимаются основные области исследований и разработок, реализация которых должна обеспечить значительный вклад в социально-экономическое и научно-техническое развитие страны и достижение за счет этого **национальных социально-экономических целей**. В каждом из приоритетных направлений развития науки и техники можно выделить ряд критических технологий.

Под **критическими технологиями** понимаются такие технологии, которые носят межотраслевой характер и создают существенные предпосылки для развития многих технологических областей, или направлений исследований и разработок, и дают в совокупности определяющий вклад в решение ключевых проблем, существующих в реализации **приоритетных направлений развития науки и техники**.

Развитие приоритетных направлений развития науки и техники началось в Российской Федерации сразу после распада СССР, с 1992 г., в том числе в рамках федеральных целевых программ, по разделу «Фундаментальные исследования и содействие научно-техническому прогрессу». Впервые на федеральном уровне приоритетные направления развития науки и техники, а также критические технологии, были утверждены 21 июля 1996 года. Было принято постановление Правительства РФ «О государственной поддержке развития науки и научно – технических разработок» и «О доктрине развития российской фундаментальной науки». Приоритетными направлениями стали фундаментальные исследования, информационные технологии и электроника, производственные технологии, новые композитные материалы и химические продукты, технологии поддержания биологических и живых систем.

С тех пор регулярно каждые несколько лет принимаются новые приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ. Так, в 2002 году Президент РФ утвердил основы государственной политики в области развития науки и технологий на период до 2015 года и на дальнейшую перспективу. В стране был создан Совет по науке и высоким технологиям. Целью выделения приоритетных направлений развития науки, технологий и техники была консолидация финансовых, материальных и интеллектуальных ресурсов на стратегически значимых точках роста. К приоритетным направлениям были отнесены: информационно-телекоммуникационные технологии и электроника, космические и авиационные технологии, новые материалы и химические технологии. Их развитие невозможно без фундаментальной науки.

В 2004 г. по поручению Правительства, на основании комплексных научных исследований, с привлечением ведущих ученых, экспертов и представителей бизнеса, перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники был сокращен. Основными критериями отбора были выбраны обеспечение национальной безопасности, снижение риска техногенных катастроф, ожидаемый вклад в ускорение роста ВВП и повышение конкурентоспособности экономики.

Перечень критических технологий охватывал перспективные области: технологии передачи, обработки и защиты информации; технологии производства программного обеспечения; биоинформационные технологии; нанотехнологии и наноматериалы; технологии создания биосовместимых материалов; биосенсорные технологии; биомедицинские технологии жизнеобеспечения и защиты человека; технологии биокатализа и биосинтеза; технологии новых и возобновляемых источников энергии.

В 2007 г. была принята Федеральная целевая программа «Исследование и разработка по приоритетным направлениям развития научно–технологического комплекса России на 2007–2012 годы». В 2009 г., в целях концентрации усилий государства, научного и предпринимательского сообщества на решение важнейших задач модернизации и технологического развития экономики, Правительством РФ была проведена работа по корректировке приоритетных направлений развития фундаментальной науки, технологий и техники, что нашло отражение в перечне критических технологий.

Основной целью является уточнение ориентиров развития отечественного научно – технического комплекса и национальной инновационной системы, исходя из национальных интересов России и тенденций мирового научного, технологического и инновационного развития, среднесрочных задач социально–экономического развития страны с учетом необходимости формирования экономики, знаний, разработки и реализации важнейших государственных программ и проектов. Приоритетные направления и перечень критических технологий взаимосвязаны с приоритетами модернизации национальной экономики, определенных Президентом, концепцией долгосрочного социально – экономического развития РФ на период до 2020 года, и долгосрочным прогнозом технологического развития страны до 2025 года.

В результате работы экспертных групп, федеральных органов исполнительной власти, государственных Академий наук и Военно–промышленной комиссии при Правительстве РФ было сформировано **7 приоритетных направлений и 27 критических технологий**, которые являются наиболее перспективными с позиций технологического и инновационного развития. Они и являются определяющими ориентирами для совершенствования отечественного научно–технического комплекса с учетом среднесрочных социально-экономических задач развития страны. Современные «*гражданские*» приоритеты выглядят так: индустрия нанотехнологий и наносистем, информационно–телекоммуникационные системы, живые системы (медицина).

Фундаментальные исследования упомянуты в качестве приоритетных лишь в 1996 г., затем их «растворили» в других приоритетах, где они играют вспомогательную роль. Лидерами являются информационно–телекоммуникационные технологии и индустрия наносистем, в которую трансформировалась позиция «новые материалы и химические технологии». Хотя нанотехнологии прямо и не указаны в президентских направлениях технологического прорыва, предполагается, что именно реализация этой позиции и позволит создать новые перспективные материалы, приборы и устройства особого назначения с повышенным сроком службы, низкой материалоемкостью и весом конструкции. *Это, в свою очередь, будет способствовать укреплению национальной безопасности, созданию отечественной элементной базы, повышению качества жизни, а также активизирует процессы импортозамещения и выхода на внешние рынки.*

Таким образом, индустрия наносистем пронизывает все остальные приоритеты и направления, что невозможно без фундаментальных исследований.

Инновационное развитие страны непременно связывается с высокими технологиями. Однако следует помнить, что высокие технологии – это средство, а не самоцель.

В развитых странах, построивших у себя конкурентоспособные национальные инновационные системы, очень высока доля высокотехнологичной продукции как в структуре внутреннего производства и потребления, так и в структуре экспорта. Этого пока нельзя сказать о России. Здесь хотелось бы отметить два момента.

Во-первых, **российский интеллектуальный потенциал** не так уж низок (об этом свидетельствует хотя бы число наших исследователей, работающих за границей, в том числе по причине недостаточного финансирования их работ на Родине).

Во-вторых, переносить зарубежный опыт на отечественную почву следует очень осторожно, поскольку необходимо учитывать как особенности институциональной заграничной среды, в которой он сформировался, так и российскую специфику.

В последние годы стабильно развивается вузовский сектор науки: число организаций, выполняющих в вузах исследования и разработки, выросло на 17 %, численность исследователей – на 16,4 %. Такой динамике способствовала государственная поддержка, ориентированная на вовлечение преподавателей, докторантов, аспирантов, магистрантов и студентов – в научные исследования. По данным экспертов, объем финансирования исследований в вузах Российского образования с 2002 по 2012 г. вырос с 8,69 млрд. руб. до 27,91 млрд. руб.

Сокращение объемов финансирования сказывается на масштабах образовательной деятельности государственных Академий наук и не позволяет в полной мере обеспечить решение кадровой проблемы, прежде всего, подготовку специалистов для работы в сфере фундаментальных исследований. Одним из путей решения могло бы стать создание нескольких академических исследовательских университетов, по аналогии с уже созданными федеральными исследовательскими университетами, а также расширение участия академических институтов в реализации образовательных программ Министерства образования и науки РФ.

Представляется, что меры по совершенствованию организации академической науки должны приниматься взвешенно и аккуратно, поскольку она является основой культурного и интеллектуального потенциала нации. При этом важнейшей задачей государственной политики является повышение роли фундаментальной науки в решении стратегических задач модернизации.

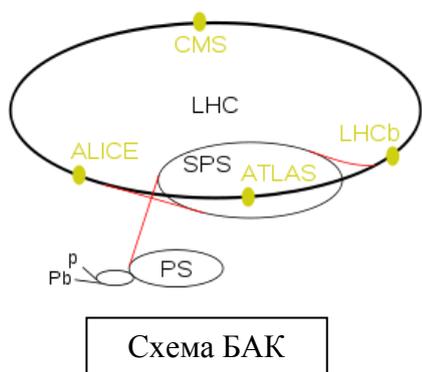
Смещение акцентов государства в сторону национальных исследовательских университетов и центров не приведет к постепенному угасанию государственных академий наук. Государству, вузам и академическим организациям надо искать пути консолидации усилий по созданию конкурентоспособной национальной инновационной системы. Политика государства в отношении науки должна быть направлена на отработку взаимоприемлемых норм и правил, стимулирующих повышение эффективности работы всех научно-исследовательских и образовательных организаций.

При этом государство должно учитывать в своих мерах дифференциацию проблемы по отраслям знаний, регионам, академическим организациям и вузам, предусматривая разумный социальный баланс науки и образования.

## Глава 1. Поиск новой физики в Большом адронном коллайдере

В конце 1960-х гг. XX в. физикам удалось разработать *стандартную модель* теории элементарных частиц (СМ), которая объединяет три из четырёх видов фундаментальных взаимодействий, существующих в природе — *сильное, слабое и электромагнитное*. *Гравитационное* взаимодействие по-прежнему описывается в терминах *общей теории относительности* (ОТО). Таким образом, в настоящее время фундаментальные взаимодействия в природе описываются двумя общепринятыми теориями: ОТО и СМ. Их объединения пока достичь не удалось из-за трудностей создания теории квантовой гравитации (ТКГ), которая призвана завершить создание новой физики будущего. Стандартная модель не может считаться окончательной теорией элементарных частиц. Она должна быть частью некоторой более глубокой теории строения микромира, той частью, которая видна в экспериментах на коллайдерах, при энергиях ниже 1ТэВ (Тера – это  $10^{12}$ ). Такие теории коллективно называются *новой физикой* или «*За пределами Стандартной модели*».

Главная задача **Большого адронного коллайдера (БАК)** — получить хотя бы первые намеки на то, что представляет собой эта более глубокая теория. Для дальнейшего объединения фундаментальных взаимодействий в одной теории используются различные подходы: **теория струн**, получившая своё развитие в **М-теории (теории бран)**, **теория супергравитации**, **петлевая квантовая гравитация** и др. Некоторые из этих теорий имеют свои внутренние проблемы, и ни у одной из них нет экспериментального подтверждения. Проблема в том, что для проведения соответствующих экспериментов нужны такие энергии, которые не достижимы на современных ускорителях заряженных частиц. Большой адронный коллайдер позволяет провести такие эксперименты, которые ранее были невозможны, что, вероятно, может подтвердить или опровергнуть часть этих теорий. Так, существует **целый спектр физических теорий с размерностями больше четырёх**, которые предполагают существование «**суперсимметрии**» — например, **теория струн**, которую иногда называют **теорией суперструн** именно из-за того, что без суперсимметрии она утрачивает всякий физический смысл. Подтверждение существования суперсимметрии могло бы стать косвенным подтверждением истинности этих теорий.



**Большой адронный коллайдер (Large Hadron Collider, LHC)** — это ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжёлых ионов (свинца) и изучения продуктов их соударений. Коллайдер построен в Центре Европейских ядерных исследований (ЦЕРН), находящемся около Женевы, на границе Швейцарии и Франции. БАК является самой крупной экспериментальной установкой в мире. В строительстве и исследованиях участвуют десятки тысяч учёных из более чем ста стран мира.

**Большим** коллайдер назван из-за своих размеров: длина основного кольца ускорителя составляет 26 659 м; **адронным** — из-за того, что он ускоряет **адроны** (тяжёлые частицы, состоящие из кварков); **коллайдером (collider — сталкиватель)** — из-за того, что пучки частиц ускоряются в противоположных направлениях и сталкиваются в специальных точках столкновения, которые можно зафиксировать.

Траектория протонов (и тяжёлых ионов свинца) начинается в линейных ускорителях (в точках p и Pb, соответственно). Затем частицы попадают в *бустер* протонного синхротрона PS, через него — в протонный суперсинхротрон SPS, и, наконец, непосредственно в туннель большого адронного коллайдера LHC.

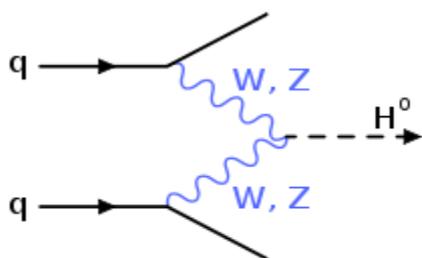
Российские учёные принимали самое активное участие как в строительстве самого БАК, так и в создании всех работающих на нём детекторов.

**Изучение топ-кварков.** Топ-кварк — это самый тяжёлый кварк и самая тяжёлая из открытых пока элементарных частиц. Согласно последним результатам, его масса составляет  $173,1 \pm 1,3$  ГэВ/c<sup>2</sup>. Из-за своей большой массы топ-кварк до сих пор наблюдался пока лишь на одном ускорителе — Тэватроне, на других ускорителях просто не хватало энергии для его рождения. Топ-кварки интересуют учёных не только сами по себе, но и как рабочий инструмент для изучения **бозона Хиггса**. Один из наиболее важных каналов рождения бозона Хиггса в Большом адронном коллайдере — его ассоциативное рождение вместе с **топ-кварк-антикварковой** парой.

Для того, чтобы надёжно отделять такие события от других фоновых событий, предварительно необходимо изучение свойств самих топ-кварков.

#### **Изучение механизма электрослабой симметрии.**

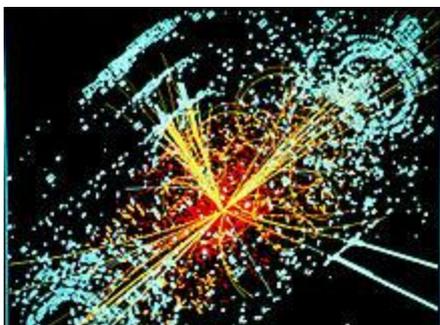
Одной из целей проекта является экспериментальное доказательство существования *бозона Хиггса*, частицы, предсказанной шотландским физиком Питером Хиггсом в 1964 г. в рамках Стандартной модели. На диаграмме Фейнмана показаны возможные варианты рождения W – и Z – бозонов, которые вместе образуют нейтральный бозон Хиггса.



Появление бозона Хиггса

Бозон Хиггса является *квантом* так называемого **поля Хиггса**, при прохождении через которое частицы испытывают сопротивление, представляемое нами как поправки к массе. Сам бозон нестабилен и имеет большую массу (более 120 ГэВ/c<sup>2</sup>). На самом деле, физиков интересует не столько сам бозон Хиггса (который часто называют *частицей бога*), сколько хиггсовский механизм нарушения симметрии электрослабого взаимодействия.

**Изучение кварк-глюонной плазмы.** Ожидается, что примерно один месяц в год будет проходить в ускорителе в режиме ядерных столкновений. В течение этого месяца коллайдер будет разгонять и сталкивать в детекторах не протоны, а ядра свинца.



Моделирование процесса рождения бозона Хиггса

При неупругом столкновении двух ядер на ультрарелятивистских скоростях на короткое время образуется и затем распадается плотный и очень горячий комок ядерного вещества. Понимание происходящих при этом явлений (переход вещества в состояние кварк-глюонной плазмы и её остывание) нужно для построения **теории сильных взаимодействий**, которая окажется полезной как для ядерной физики, так и для астрофизики.

**Поиск суперсимметрии.** Первым значительным научным достижением экспериментов на БАК может стать доказательство или опровержение существования явления *суперсимметрии* — теории, гласящей, что любая элементарная частица имеет гораздо более тяжёлого партнера, или *суперчастицу*.

**Изучение фотон–адронных и фотон–фотонных столкновений.** Электромагнитное взаимодействие частиц описывается как *обмен фотонами*. Таким образом, фотоны являются переносчиками электромагнитного поля. Протоны электрически заряжены и окружены электростатическим полем, и это поле можно рассматривать как облако виртуальных фотонов. Всякий протон включает в себя облако виртуальных частиц. При столкновении протонов между собой взаимодействуют и виртуальные частицы, окружающие каждый из протонов. Математически процесс взаимодействия частиц описывается длинным рядом поправок, каждая из которых описывает взаимодействие посредством виртуальных частиц (диаграммы Фейнмана). При исследовании столкновения протонов изучается и взаимодействие вещества с фотонами высоких энергий, представляющее большой интерес для теоретической физики. Также рассматривается особый класс реакций — непосредственное взаимодействие двух фотонов, которые могут столкнуться как со встречным протоном, порождая типичные фотон–адронные столкновения, так и друг с другом. В режиме ядерных столкновений, из–за большого электрического заряда ядра, влияние электромагнитных процессов имеет ещё большее значение.

**Проверка теорий.** В конце XX в. теоретики выдвинули много необычных идей относительно устройства вселенной, которые все вместе называются «экзотическими моделями». Сюда относятся *теории с сильной гравитацией*, на масштабе энергий порядка 1 ТэВ, *теории и модели с большим количеством пространственных измерений*, *преонные модели*, в которых кварки и лептоны сами состоят из частиц, модели с новыми типами взаимодействия. Накопленных экспериментальных данных оказывается всё ещё недостаточно для создания одной–единственной теории, а сами теории вполне совместимы с имеющимися экспериментальными данными. Поскольку в этих теориях можно сделать конкретные предсказания для результатов БАК, экспериментаторы планируют проверить предсказания и найти следы тех или иных теорий в своих данных.

*Результаты, полученные на ускорителе, смогут доказать истинность какой–либо из теорий и отклонить некоторые из предложенных построений.*

**Технические характеристики.** В ускорителе предполагается сталкивать протоны с суммарной энергией 14 ТэВ в системе центра масс налетающих частиц, а также ядра свинца с энергией 5 ГэВ на каждую пару сталкивающихся нуклонов. БАК уже несколько превзошел по энергии протонов предыдущего рекордсмена — **протон–антипротонный** коллайдер *Тэватрон*, который до конца 2011 года работал в Национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми (США).

Несмотря на то, что наладка оборудования растягивается на годы и ещё не завершена, БАК уже стал самым высокоэнергичным ускорителем элементарных частиц в мире, на порядок превосходя по энергии все остальные подобные установки в мире.

Глубина залегания туннеля — от 50 до 175 метров, причём кольцо туннеля наклонено примерно на 1,4 % относительно поверхности Земли. Для удержания, коррекции и фокусировки протонных пучков используются 1624 сверхпроводящих магнита, общая длина которых превышает 22 км. Магниты работают при температуре 1,9 К (–271 °С), что немного ниже температуры перехода гелия в сверхтекучее состояние.



Подземный зал, в котором смонтирован детектор ATLAS



Детектор CMS

*Детекторы:* на Большом адронном коллайдере работают 4 основных и 3 вспомогательных детектора. Детекторы **ATLAS** и **CMS** имеют общее назначение и предназначены для поиска бозона Хиггса и нестандартных физических явлений, в частности тёмной материи. Детектор **ALICE** планируется для изучения кварк–глюонной плазмы в столкновениях тяжёлых ионов свинца, **LHCb** — для исследования физики *b*-кварков, что позволит лучше понять различия между материей и антиматерией. **TOTEM** предназначен для изучения рассеяния частиц на малые углы, такие, что возникают при близких пролётах без столкновений, что позволяет точнее измерить размер протонов, а также контролировать светимость коллайдера. Детектор **LHCf** нужен для исследования космических лучей, моделируемых с помощью тех же несталкивающихся частиц. Седьмой, незначительный в плане бюджета и сложности, экспериментальный детектор **MoEDAL**, предназначен для поиска медленно движущихся тяжёлых частиц.

Во время работы коллайдера столкновения проводятся одновременно во всех четырёх точках пересечения пучков, независимо от типа ускоряемых частиц (протоны или ядра). При этом все детекторы одновременно набирают статистические данные.

**Процесс ускорения частиц в коллайдере.** Скорость частиц в БАК на встречных пучках близка к скорости света в вакууме. Разгон частиц до таких больших энергий достигается в несколько этапов. На первом этапе низкоэнергетичные линейные ускорители производят инжекцию протонов и ионов свинца для дальнейшего ускорения. Затем частицы попадают в бустер и далее в протонный синхротрон, приобретая энергию в 28 ГэВ. При этой энергии они уже движутся со скоростью, близкой к световой. После этого ускорение частиц продолжается в протонном суперсинхротроне, где энергия частиц достигает 450 ГэВ. Затем сгусток протонов направляют в главное, 26,7 – километровое кольцо, доводя энергию протонов до максимального значения 7 ТэВ. В точках столкновения детекторы фиксируют происходящие события. Два встречных пучка протонов при полном заполнении могут содержать 2808 сгустков каждый. На начальных этапах отладки процесса ускорения циркулируют лишь по одному сгустку в пучке длиной несколько сантиметров и небольшого поперечного размера. Затем начинают увеличивать количество сгустков. Сгустки располагаются в фиксированных позициях относительно друг друга, которые синхронно движутся вдоль кольца. Сгустки в определённой последовательности могут сталкиваться в четырёх точках кольца, где расположены детекторы частиц. Кинетическая энергия всех сгустков адронов в БАК'е при полном его заполнении сравнима с кинетической энергией реактивного самолета, хотя масса всех частиц не превышает нанограмма и их даже нельзя увидеть невооружённым глазом. Такая энергия достигается за счёт скорости частиц, близкой к скорости света. Сгустки проходят полный круг ускорителя быстрее, чем за 0,0001 секунды, совершая, таким образом, свыше 10 тысяч оборотов в секунду.

**Потребление энергии.** Во время работы БАК расчётное потребление энергии равно 180 МВт. Энергозатраты за год работы коллайдера составят 1000 ГВт·ч.

**Вопросы безопасности БАК.** Значительная доля внимания со стороны представителей общественности и СМИ связана с обсуждением катастроф, которые могут произойти в связи с функционированием БАК. Наиболее часто обсуждается опасность возникновения микроскопических чёрных дыр с последующей цепной реакцией захвата окружающей материи. Специалисты опровергают подобные слухи.

**Распределённые вычисления и анализ результатов.** Для управления, хранения и обработки данных, которые будут поступать с ускорителя БАК и детекторов, создаётся распределённая вычислительная сеть LCG. Для определённых вычислительных задач требуется расчет и корректировка параметров магнитов путем моделирования движения протонов в магнитном поле. Обработка полученных экспериментальных данных весьма сложна и связана с большим объёмом информации, необходимым для передачи на удаленные компьютеры (сотни гигабайт). В рамках проекта распределённых вычислений производится моделирование столкновений пучков протонов, чтобы сопоставить полученные модельные и экспериментальные данные.

**Научные результаты.** Благодаря большей энергии, по сравнению с предшествовавшими коллайдерами, БАК позволяет *заглянуть* в недоступную ранее область высоких энергий и получить научные результаты, накладывающие ограничения на ряд теоретических моделей. Краткий перечень полученных научных результатов:

- открыт *бозон Хиггса*, его масса определена как  $125,3 \pm 0,6$  ГэВ;
- при энергиях до 8 ТэВ изучены статистические характеристики протонных столкновений – количество рождённых адронов, бозе–эйнштейновские корреляции мезонов, дальние угловые корреляции, вероятность остановки протона;
- показано отсутствие асимметрии протонов и антипротонов;
- обнаружены необычные корреляции протонов, летящих в разных направлениях;
- получены ограничения на возможные контактные взаимодействия кварков;
- получены более веские, по сравнению с предыдущими экспериментами, признаки возникновения кварк–глюонной плазмы в ядерных столкновениях;
- исследован процесс возникновения адронных струй;
- подтверждено существование топ–кварка, обнаруженного на *Тэватроне*;
- обнаружено два новых канала распада  $B_s$ –мезонов, получены оценки вероятностей сверхредких распадов  $B$ – и  $B_s$ –мезонов на мюон–антимюонные пары;
- открыты новые, теоретически предсказанные частицы;
- получены данные о протон–ионных столкновениях на рекордной энергии.

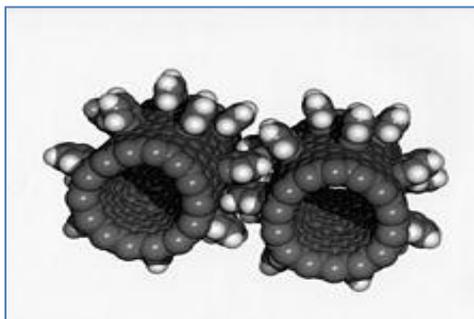
Были предприняты попытки обнаружить гипотетические объекты: *лёгкие чёрные дыры; возбуждённые кварки; суперсимметричные частицы; лептокварки; неизвестные ранее взаимодействия и их частицы-переносчики*. Несмотря на то, что объекты пока не зафиксированы, получены более четкие данные об их возможной массе.

**Финансирование проекта.** Бюджет проекта на 2012 г. составил 6,5 млрд. долл. — столько было инвестировано в строительство установки, которое продолжалось семь лет.

В проекте задействовано 700 специалистов из России. Общая стоимость заказов, полученных российскими предприятиями, достигает 120 млн. долл.

Официальная стоимость проекта БАК не включает стоимость ранее существовавших инфраструктуры и наработок. Основное оборудование смонтировано в тоннеле ранее существовавшего коллайдера LEP, при этом использовалось многокилометровое кольцо SPS в качестве предварительного ускорителя. Если бы Большой адронный коллайдер пришлось строить с нуля, его стоимость оказалась бы заметно выше.

## Глава 2. Нанотехнологии и их перспективы в России и в мире



Шестерни молекулярного размера на базе нанотрубок

**Нанотехнологии** – это междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов *с заданной атомной структурой* путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами. На сегодняшний день в мире нет стандарта, описывающего, что такое нанотехнологии, и что такое нанопродукция.

Среди определений нанотехнологий имеются такие:

- знание и управление процессами в масштабе 1 нм, но не исключающее масштаб менее 100 нм в одном или более измерениях, когда ввод в действие явления размерного эффекта приводит к возможности новых применений;
- использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств самих свободных атомов или молекул, а также от объемных свойств вещества, состоящего из этих атомов или молекул, для создания более совершенных материалов, приборов, систем, реализующих эти свойства.

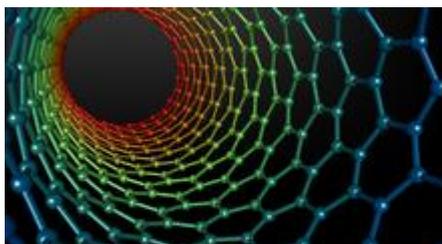
Согласно концепции развития нанотехнологий на период до 2015 года, нанотехнологии определяются как совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты и их компоненты размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении. В результате этого объекты получают *принципиально новые качества*, позволяющие осуществить их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба. Практический аспект нанотехнологий включает в себя производство устройств и их компонентов, необходимых для создания и обработки отдельных атомов, молекул и наночастиц, а также манипуляции ими. Подразумевается, что не обязательно объект должен обладать линейными размерами менее 100 нм. Это могут быть и макрообъекты, атомарная структура которых создаётся контролируемым образом, с разрешением на уровне отдельных атомов, либо же содержит в себе отдельные нанообъекты. В более широком смысле термин *нанотехнологии* охватывает также методы диагностики и исследования таких *нанообъектов*.

Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных технологий, поскольку в таких масштабах привычные, макроскопические способы обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежительно слабые в привычных масштабах, становятся намного значительнее: свойства и взаимодействия отдельных атомов и молекул или квантовые эффекты.

Нанотехнологии, и в особенности молекулярные технологии, — новые, очень мало исследованные области. Основные открытия, предсказываемые в этой области фундаментальной наукой, пока не сделаны. Тем не менее, проводимые исследования уже дают практические результаты. Использование в нанотехнологиях передовых научных достижений позволяет относить её к высоким технологиям.

Развитие современной электроники идёт по пути уменьшения размеров устройств. С другой стороны, классические методы производства подходят к своему естественному экономическому и технологическому барьеру, когда размер устройства уменьшается ненамного, но экономические затраты на его производство возрастают экспоненциально. Нанотехнологии — это следующий логический шаг развития высоких технологий в области электроники, и других наукоёмких производств.

## 2.1 История возникновения нанотехнологий



Взгляд изнутри  
углеродных нанотрубок

Первое упоминание методов, которые впоследствии будут названы нанотехнологиями, многие источники связывают с выступлением Ричарда Фейнмана в 1959 г. в Калифорнийском технологическом институте на ежегодной конференции Американского физического общества. Фейнман предположил, что возможно механически перемещать одиночные атомы при помощи манипулятора соответствующего размера, и, по крайней мере, такой процесс не противоречит известным физическим законам.

Такой манипулятор он предложил делать следующим образом: необходимо построить механизм, способный создавать свою копию, только на порядок меньшую. Полученный меньший механизм должен опять создать свою копию, опять на порядок меньшую и так до тех пор, пока размеры механизма не будут соизмеримы с размерами порядка одного атома. При этом необходимо делать изменения в устройстве этого механизма, так как силы гравитации, действующие в макромире, будут оказывать все меньшее влияние, а силы межмолекулярных взаимодействий будут все больше влиять на работу механизма. Последний этап — полученный механизм соберёт свою копию из отдельных атомов. Принципиально число таких копий неограниченно, и можно будет за короткое время создать произвольное число таких машин. Эти машины смогут такой же поатомной сборкой собирать и макрообъекты. Это позволит сделать вещи на порядок дешевле — таким нанороботам нужно будет дать только необходимое количество молекул и энергию, и написать программу для сборки необходимых предметов. До сих пор никто не смог опровергнуть эту возможность, но и никому пока не удалось создать такие механизмы.

Вот как Фейнман описал предполагаемый им манипулятор: «Я думаю о создании системы с электронным управлением, в которой используются изготовленные обычным способом обслуживающие роботы в виде уменьшенных в четыре раза копий «рук» оператора. Такие микромеханизмы смогут легко выполнять операции в уменьшенном масштабе. Я говорю о крошечных роботах, снабженных серводвигателями и маленькими «руками», которые могут закручивать столь же маленькие болты и гайки, сверлить очень маленькие отверстия и т. д. Короче говоря, они смогут выполнять все работы в масштабе 1:4. Для этого, конечно, сначала следует изготовить необходимые механизмы, инструменты и «руки» — манипуляторы в одну четвертую обычной величины». На самом деле это означает уменьшение всех поверхностей контакта уже в 16 раз.

На последнем этапе все эти устройства будут оборудованы *серводвигателями* (с уменьшенной в 16 раз мощностью) и присоединены к обычной системе электрического управления. После этого можно будет пользоваться уменьшенными в 16 раз руками – манипуляторами! Сфера применения таких микророботов, а также микромашин может быть довольно широкой — от хирургических операций до транспортирования и переработки радиоактивных материалов. Я надеюсь, что принцип предлагаемой программы, а также связанные с ней неожиданные проблемы и блестящие возможности понятны. Более того, можно задуматься о возможности дальнейшего существенного уменьшения масштабов, что, естественно, потребует дальнейших конструктивных изменений и модификаций (на определённом этапе, возможно, придется отказаться от «рук» привычной формы), но позволит изготовить новые, значительно более совершенные устройства описанного типа. Ничто не мешает продолжить этот процесс и создать сколько угодно крошечных станков, поскольку не имеется ограничений, связанных с размещением станков или их материалоемкостью. Их объем будет всегда намного меньше объема прототипа. Легко рассчитать, что общий объем 1 млн. уменьшенных в 4000 раз станков (а значит, и масса используемых для их изготовления материалов) будет составлять менее 2 % от объема и массы обычного станка нормальных размеров. Это сразу снимает и проблему стоимости материалов. В принципе, можно организовать миллионы одинаковых миниатюрных заводиков, на которых крошечные станки непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п. По мере уменьшения размеров мы будем постоянно сталкиваться с очень необычными физическими явлениями. Всё, с чем приходится встречаться в жизни, зависит от масштабных факторов. Существует ещё и проблема **слипания** материалов под действием сил межмолекулярного взаимодействия (силы Ван-дер-Ваальса), которая может приводить к эффектам, необычным для макроскопических масштабов. Например, гайка не будет отделяться от болта после откручивания, а в некоторых случаях будет плотно **приклеиваться** к поверхности, и т. д. Существует несколько физических проблем такого типа, о которых следует помнить при проектировании и создании микроскопических механизмов.

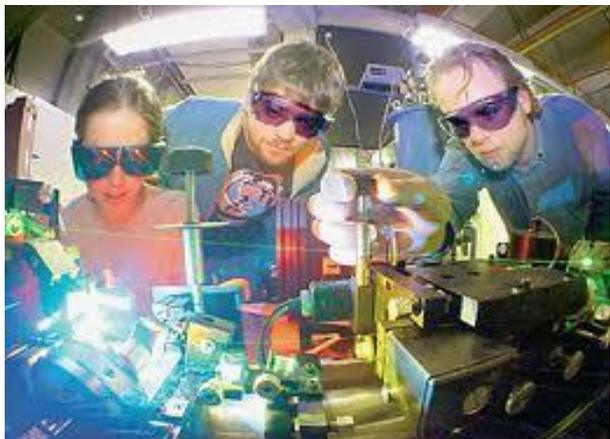
В ходе теоретического исследования данной возможности появились гипотетические сценарии конца света, подхваченные писателями – фантастами, которые предполагают, что нанороботы поглотят всю биомассу Земли, выполняя свою программу **саморазмножения** (так называемая «серая слизь» или «серая жижа»).

Первые предположения о возможности исследования объектов на атомном уровне можно встретить в книге «Optics» *Исаака Ньютона*, вышедшей ещё в 1704 г. В ней великий учёный выражает надежду, что микроскопы будущего когда-нибудь смогут исследовать «тайны корпускул, из которых состоит вся материя».

Впервые термин *нанотехнология* употребил американец японского происхождения *Норио Танигути* в 1974 году. Он назвал этим термином производство изделий размером несколько нанометров. С тех пор этот термин стал общеизвестным в науке.

В 1980–х годах этот термин использовал Эрик К. Дрекслер в своих книгах: «*Машины создания: Грядущая эра нанотехнологии*» («*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*») и «*Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*». Центральное место в его исследованиях играли математические расчёты, с помощью которых, теоретически, возможно проанализировать работу микроминиатюрных устройств, размерами в несколько нанометров.

## 2.2 Фундаментальные основы нанотехнологий



В 2009 г. группа учёных из университета Висконсин–Мэдисон доказала, что законы трения в макро– и наном мире аналогичны.

Современная тенденция к микроминиатюризации технических устройств показала, что вещество электронной техники может иметь совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого материала.

Частицы размерами от 1 до 100 нм обычно называют **наночастицами**. Так, например, оказалось, что наночастицы некоторых материалов имеют очень хорошие каталитические

и адсорбционные свойства. Другие материалы показывают удивительные оптические свойства. Например, сверхтонкие пленки органических материалов применяются для производства солнечных батарей. Такие батареи, хотя и обладают сравнительно низкой квантовой эффективностью, более дешёвы и механически гибки. Удалось добиться взаимодействия искусственных наночастиц с природными объектами наноразмеров — белками, нуклеиновыми кислотами и др. Тщательно очищенные наночастицы могут самопроизвольно выстраиваться в определённые структуры. Такая структура содержит строго упорядоченные наночастицы и также проявляет необычные свойства.

**Нанообъекты** делятся на три основных класса. *Трёхмерные частицы* получают путём взрыва проводников, с помощью плазменного синтеза или восстановления тонких плёнок. *Двумерные объекты* (плёнки) создаются методами молекулярного или ионного наслаивания. *Одномерные объекты* (вискеры) производятся методом молекулярного наслаивания, введением веществ в цилиндрические микропоры и т. д.

Существуют также **нанокompозиты** — материалы, полученные введением наночастиц в какие-либо матрицы. На данный момент обширное применение получил метод микролитографии, применяемый в электронике: он позволяет получать на поверхности матриц плоские островковые объекты размером от 50 нм. Методы CVD и ALD в основном применяются для создания тонких микронных плёнок. Следует отметить методы ионного и молекулярного наслаивания, поскольку с их помощью возможно создание реальных монослоёв. Прочие методы используются в научных целях.

Особый класс нанообъектов составляют **органические наночастицы**, имеющие структуру как естественного, так и искусственного происхождения.

Поскольку многие физические и химические свойства наночастиц, в отличие от объемных материалов, зависят от их размеров, в последние годы проявляется интерес к методам измерения их размеров в растворах: анализ траекторий наночастиц, динамическое светорассеяние, седиментационный анализ, ультразвуковые методы.

Особое внимание привлекают **синергетические свойства наночастиц** как свойства их самоорганизации и возникновения самоорганизующихся процессов. Один из важнейших вопросов, стоящих перед нанотехнологиями — как заставить молекулы группироваться определённым способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства.

Этой проблемой занимается раздел химии — **супрамолекулярная химия**. Она изучает не отдельные молекулы, а взаимодействия между ними, которые способны упорядочить молекулы определённым способом, создавая новые вещества и материалы. Обнадёживает то, что в природе действительно существуют подобные системы и осуществляются подобные процессы. Так, известны биополимеры, способные организовываться в особые структуры. Один из примеров — белки, которые не только могут сворачиваться в глобулярную форму, но и образовывать комплексы — структуры, включающие несколько молекул белков.

Однако явления самоорганизации не замыкаются только на спонтанном упорядочении молекул и/или иных частиц в результате их взаимодействия. Существуют и другие процессы, которым присуща способность к самоорганизации, не являющиеся предметом супрамолекулярной химии. Одним из таких процессов является **электрохимическое анодное окисление** (анодирование) алюминия.

**Проблема образования агломератов.** Наночастицы имеют одно свойство, которое затрудняет их использование. Они могут образовывать агломераты, то есть слипаться друг с другом. Так как наночастицы имеют многообещающие перспективы в отраслях производства керамики и металлургии, эту проблему необходимо решать. Одно из возможных решений — использование веществ — диспергентов, таких как цитрат аммония (водный раствор), имидазолин, олеиновый спирт (нерастворимый в воде). Их можно добавлять в среду, содержащую наночастицы.

## 2.3 Новейшие достижения в области наноматериалов

**Наноматериалы** – это материалы, разработанные на основе наночастиц с уникальными характеристиками, вытекающими из наноразмеров их составляющих.

- **Углеродные нанотрубки** — протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей (графенов) и обычно заканчивающиеся полусферической головкой.

- **Фуллерены** — молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие известные формы углерода — алмаз, карбин и графит) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода.

- **Графен** — монослой атомов углерода, полученный в 2004 г. в Манчестерском университете. Графен используется как детектор молекул, позволяющий контролировать приход и уход единичных молекул. Носители зарядов в графене обладают высокой подвижностью при комнатной температуре, благодаря чему он оказывается перспективным материалом, заменяющим кремний в интегральных микросхемах.

- **Наноаккумуляторы** — в начале 2005 г. компания Altair Nanotechnologies (США) объявила о создании инновационного нанотехнологического материала для электродов литий-ионных аккумуляторов. Аккумуляторы с  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  электродами имеют время зарядки 10–15 минут. Компания начала производство аккумуляторов, что дало возможность создания электромобиля. В мае 2006 г. успешно завершились испытания автомобильных наноаккумуляторов, после чего был получен первый заказ на поставку литий-ионных аккумуляторов для электромобилей.

- *Наномедицина* – направление в современной медицине, основанное на использовании уникальных свойств наноматериалов и нанообъектов для отслеживания, конструирования и изменения биологических систем человека на наномолекулярном уровне. ДНК–нанотехнологии — используют специфические основы молекул ДНК и нуклеиновых кислот для создания на их основе заранее заданных структур.

- *Нанофармакология* – промышленный синтез молекул лекарств и фармакологических препаратов четко определенной формы (бис – пептиды).

- *Самоочищающиеся поверхности* на основе эффекта лотоса.

**Методы исследования.** В силу того, что нанотехнологии — междисциплинарная наука, для проведения научных исследований используются те же методы, что и в классической биологии, химии, физике. Одним из относительно новых методов исследований в области нанотехнологий является *сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ)*.

В настоящее время в исследовательских лабораториях используются не только *классические зондовые микроскопы*, но и СЗМ в комплексе с оптическими микроскопами, электронными микроскопами, спектрометрами комбинационного рассеяния и флюоресценции, ультрамикротоматами (для получения трёхмерной структуры материалов). Исследования свойств поверхности с помощью сканирующего зондового микроскопа проводятся на воздухе при атмосферном давлении, в вакууме и даже в жидкости. СЗМ поддерживает совмещение с другими методами исследования, например, с классической оптической микроскопией и спектральными методами.

С помощью сканирующего зондового микроскопа можно не только увидеть отдельные атомы, но также избирательно воздействовать на них, в частности, перемещать атомы по поверхности. Учёным удалось создать двумерные наноструктуры на поверхности – так, в исследовательском центре компании IBM, последовательно перемещая атомы ксенона на поверхности монокристалла никеля, сотрудники смогли выложить три буквы логотипа компании, используя 35 атомов ксенона.

При выполнении подобных манипуляций возникает ряд технических трудностей. В частности, требуется создание условий сверхвысокого вакуума ( $10^{-11}$  тор), необходимо охлаждать подложку и микроскоп до сверхнизких температур (4–10 К), поверхность подложки должна быть атомарно чистой и атомарно гладкой, для чего применяются специальные методы её приготовления. Охлаждение подложки производится с целью уменьшения поверхностной диффузии осаждаемых атомов, охлаждение микроскопа позволяет избавиться от термодрейфа.

Для решения задач, связанных с точным измерением топографии, свойств поверхности и с манипуляцией нанообъектами посредством зонда сканирующего атомно–силового микроскопа, была предложена методология *на особенность–ориентированного сканирования (ООС)*. Этот подход позволяет в автоматическом режиме реализовать нанотехнологию поэлементной сборки наноустройств (*сверху – вниз*). При этом работа производится при комнатной температуре, поскольку ООС в реальном масштабе времени определяет скорость дрейфа и выполняет компенсацию вызываемого дрейфом смещения. На многозондовых инструментах ООС позволяет последовательно применить к нанообъекту любое количество аналитических и технологических зондов, что даёт возможность создавать сколь угодно сложные нанотехнологические процессы. Однако в большинстве случаев нет необходимости манипулировать отдельными атомами или наночастицами, и достаточно обычных лабораторных условий для изучения интересующих объектов.

## 2.4 Перспективы наноэлектроники и нанокomпьютеров

### ***В области компьютерной техники прорывными технологиями являются:***

- *Центральные процессоры* — в 2007 г. компания Intel заявила о разработке нового прототипа процессора, содержащего наименьший структурный элемент размерами примерно 45 нм. В дальнейшем компания намерена достичь размеров структурных элементов до 5 нм. Основной конкурент Intel, компания AMD, также давно использует для производства своих процессоров нанотехнологические процессы, разработанные совместно с компанией IBM. Характерным отличием от разработок Intel является применение дополнительного изолирующего слоя SOI, препятствующего утечке тока за счет дополнительной изоляции структур, формирующих транзистор. К настоящему времени существуют рабочие образцы процессоров с транзисторами размером 32 нм и опытные образцы на 22 нм.

- *Жёсткие диск* — в 2007 году Питер Грюнберг и Альберт Ферт получили Нобелевскую премию по физике за открытие GMR-эффекта, позволяющего производить запись данных на жестких дисках с атомарной плотностью информации.

- *Сканирующий зондовый микроскоп* — микроскоп высокого разрешения, основанный на взаимодействии иглы кантилевера (зонда) с поверхностью исследуемого образца. Обычно под взаимодействием понимается притяжение или отталкивание кантилевера от поверхности из-за сил Ван-дер-Ваальса (приводящих к *слипанию* материалов под действием сил межмолекулярного взаимодействия). Но при использовании специальных устройств в самом зонде (кантилевере) можно изучать электрические и магнитные свойства поверхности. СЗМ может исследовать как проводящие, так и непроводящие поверхности даже через слой жидкости, что позволяет работать с органическими молекулами (ДНК). Пространственное разрешение сканирующих зондовых микроскопов зависит от характеристик используемых зондов. Разрешение достигает атомарного по горизонтали и существенно превышает его по вертикали.

- *Антенна-осциллятор* — в 2005 г. в лаборатории Бостонского университета была получена антенна-осциллятор размерами порядка 1 мкм. Это устройство насчитывает 5000 миллионов атомов и способно осциллировать с частотой 1,49 гигагерц, что позволяет передавать с её помощью огромные объёмы информации.

- *Плазмоны* — коллективные колебания свободных электронов в металле. Характерной особенностью возбуждения плазмонов считается так называемый *плазмонный резонанс*, предсказанный ещё в начале XX века. Длина волны плазмонного резонанса, например, для сферической частицы серебра диаметром 50 нм составляет примерно 400 нм, что указывает на возможность регистрации наночастиц далеко за границами дифракционного предела (длина волны излучения много больше размеров частицы). В начале 2000 г, благодаря быстрому прогрессу в технологии изготовления частиц наноразмеров, был дан толчок к развитию новой области нанотехнологии — наноплазмонике. Оказалось возможным передавать электромагнитное излучение вдоль цепочки металлических наночастиц с помощью возбуждения плазмонных колебаний.

### ***В робототехнике революционными прорывами можно считать:***

- *Молекулярные роторы* — синтетические наноразмерные двигатели, способные генерировать крутящий момент при приложении к ним нужной энергии.

- *Нанороботы* — роботы, созданные из наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой, обладающие функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ. Нанороботы, способные к созданию своих копий, то есть самовоспроизводству, называются репликаторами. Возможность создания нанороботов предложил Эрик Дрекслер. Вопросы разработки нанороботов и их компонентов рассматриваются на профильных международных конференциях.
- *Молекулярные пропеллеры* — наноразмерные молекулы в форме винта, способные совершать вращательные движения благодаря своей специфической форме, аналогичной форме макроскопического винта.
- *Игры нанороботов* – с 2006 г. в рамках проекта RoboCup (чемпионат мира по футболу среди роботов) появилась номинация «Соревнования нанороботов» «Nanogram Competition», в которой игровое поле представляет собой квадрат со стороной 2,5 мм. Максимальный размер игрока ограничен 300 мкм.
- *Концептуальные устройства связи*. Фирма Nokia представила NokiaMorph — проект сотового нанотелефона будущего, созданный совместно научно-исследовательским подразделением Nokia и Кембриджским университетом на основе использования нанотехнологических материалов.

## 2.5 Индустрия нанотехнологий и отношение к ним общества

Мировые инвестиции в сферу разработки нанотехнологий почти удваиваются ежегодно и уже достигают сотен миллиардов долларов. На долю частных инвесторов — корпораций и фондов — приходится примерно две трети инвестиций, на долю государственных структур — одна треть. Мировыми лидерами по общему объёму капиталовложений в этой сфере стали Япония и США.

Прогресс в области нанотехнологий вызвал широкий общественный резонанс. Негативное отношение к нанотехнологиям у неспециалистов и консервативной части общества связано с религиозностью, боязнью перемен в жизни общества, а также из-за опасений, связанных с токсичностью наноматериалов, свойства и безопасность которых вызывает ряд вопросов. С 2005 г. функционирует Международная рабочая группа, изучающая социальные последствия развития нанотехнологий. Международным Советом по нанотехнологиям выпущено постановление, в котором говорилось о необходимости информирования людей о нанотехнологических исследованиях и их общественной безопасности. Тема развития нанотехнологий стала объектом философских исследований, которые регулярно обсуждаются на Международных футурологических конференциях.

Ещё в 2007 г. президент России Владимир Путин в послании Федеральному Собранию назвал нанотехнологии наиболее приоритетным направлением развития науки и техники. В 2008 г. было создано *Нанотехнологическое общество России*, в задачи которого входит просвещение российского общества и формирование благоприятного общественного мнения в пользу нанотехнологического развития страны, как не имеющего альтернативы. В 2009 г. президент Дмитрий Медведев на открытии Международного форума по нанотехнологиям в Москве отметил: «Все мы должны сделать так, чтобы нанотехнологии стали одной из мощнейших отраслей экономики России». В нашей стране увеличено количество специальностей, в связи с развитием потребности в квалифицированных кадрах для нанотехнологий.

Нанотехнологии уже давно вошли в искусство, и многие произведения современных художников касаются нанотехнологической тематики. Возникло новое современное направление *наноарт (наноискусство)* — вид искусства, связанный с созданием художником скульптур (композиций) микро– и наноразмеров ( $10^{-6}$  и  $10^{-9}$  м, соответственно) под действием химических или физических процессов обработки материалов, фотографированием полученных нано–образов с помощью электронного микроскопа и обработкой черно–белых фотографий в графических редакторах. Нанороботам и их роли в социальном прогрессе посвящены многие композиции.

В известном произведении русского писателя Николая Лескова *«Левша»* (1881 г.) есть любопытный фрагмент: *«Если бы, — говорит, — был лучше мелкоскоп, который в пять миллионов увеличивает, так вы изволили бы, — говорит, — увидеть, что на каждой подковинке мастерово имя выставлено: какой русский мастер ту подковку делал»*. Всё это произведение предвосхищает развитие нанотехнологий. Увеличение уже в 5 000 000 раз обеспечивают электронные и атомно–силовые микроскопы, считающиеся основными инструментами нанотехнологий. Таким образом, литературного героя Левшу можно считать первым в российской истории «нанотехнологом».



Изложенные Р. Фейнманом в лекции 1959 г. *«Там внизу много места»* идеи о способах создания и применения наноманипуляторов практически текстуально совпадают с фантастическим рассказом известного советского писателя Бориса Житкова *«Микроруки»*, опубликованном в 1931 г.

Некоторые отрицательные последствия неконтролируемого развития нанотехнологий описаны в произведениях М. Крайтона (*«Рой»*), С. Лема (*«Осмотр на месте»*, *«Непобедимый»* и *«Мир на Земле»*), С. Лукьяненко (*«Нечего делить»*). В фантастическом сериале *«Звёздные врата»* одной из самых технически и социально развитых рас является раса *«репликаторов»*, возникшая в результате неудавшегося опыта с использованием и описанием различных вариантов применения нанотехнологий. В фильме *«День, когда Земля остановилась»* с Киану Ривзом в главной роли, инопланетная цивилизация выносит человечеству смертный приговор, и чуть было не уничтожает все на планете при помощи самовоспроизводящихся нанорепликантов – жуков, пожирающих все на своем пути. В фильмах *«Терминатор 2»* и *«Терминатор 3»* нанотехнологии представлены в виде роботов «Т–1000» и «Тэ–Икс».

**Выставки достижений нанотехнологий «РОСНАНО».** Первый в России Международный форум по нанотехнологиям *Rusnanotech* прошел в 2008 г., после чего стал ежегодным. Так, в 2012 г. в работе форума приняли участие 7200 человек. Среди участников конференций, специально организованных Фондом *«Форум Роснанотех»*, собираются крупные российские и зарубежные учёные. Регулярно проходят встречи с победителями Всероссийских Интернет–олимпиад по нанотехнологиям. Российские нанотехнологии имеют будущее, что подтверждает развитие проекта Сколково, который часто называют *Российской кремниевой долиной*.

### Глава 3. Информатика XXI века как фундаментальная наука

**Информатика** квалифицируется как стратегически важное направление науки, необходимое для развития экономики, промышленности, высоких технологий, обеспечения национальной безопасности. Развитие фундаментальных основ, включая философские и мировоззренческие аспекты информатики как междисциплинарного научного направления, позволяет получить целостную картину состояния и перспектив её развития как фундаментальной науки. Термин «*информатика*» обозначает и **компьютерную науку**, и **информационную науку**, и всю область, связанную с использованием **информационной техники и информационных технологий** для социальных коммуникаций, проведения научных исследований, развития образования, экономики и культуры, а также **всю информационную сферу деятельности**, включая отрасли промышленного производства. Это – *фундаментальная естественная наука, изучающая процессы передачи и обработки информации.*

В настоящее время в мировом научном и образовательном сообществах существуют три основные точки зрения на предмет и область исследований информатики. В соответствии с первой из них информатика все еще квалифицируется как *комплексная техническая дисциплина, изучающая методы и средства автоматизированной обработки и передачи информации при помощи современных средств информатизации и, в первую очередь, с помощью ЭВМ и телекоммуникационных сетей.* Существует также и другая точка зрения, в рамках которой информатика рассматривается одновременно и как *фундаментальная естественная наука, и как комплексная область практической деятельности.* Как результат исследования развития определений информатики и ее предметной области в рамках данного направления – проанализирована эволюция представлений о предмете информатики и показано ее место в системе науки, междисциплинарное значение и взаимосвязи с другими научными дисциплинами. Еще одна точка зрения, приобретающая все больше сторонников, как в России, так и за рубежом, связана с работами российских ученых А.П. Ершова и Ю.И. Шемакина. Они рассматривали информатику как *формирующуюся новую фундаментальную науку, которая будет иметь первостепенное значение не только для естествознания, но и для гуманитарных наук.* Этот прогноз ученых был основан на признании фундаментальности понятия информации, которая и является важнейшим объектом изучения информатики как фундаментальной науки. Существует гипотеза, согласно которой информационные закономерности должны иметь общую основу для своего проявления, как в живой, так и в неживой природе, в том числе и в искусственно созданных системах.

Основным объектом изучения для современной информатики являются информационные процессы и процессы информационного взаимодействия, которые происходят в природе и обществе, а также методы и средства реализации этих процессов в технических, социальных, биологических и физических системах.

Предметом изучения для информатики являются *основные свойства и закономерности информационных процессов и информационного взаимодействия в природе и обществе, особенности их проявления в различных информационных средах (технической, физической, биологической и социальной), методы и средства их реализации, а также их использование в различных сферах социальной практики.*

**Информатика**, как и философия, является «матерью всех наук», комплексной научной дисциплиной, имеющей исключительно важное практическое значение для дальнейшего развития общества, в особенности, на этапе его перехода к глобальному информационному обществу, основанному на знаниях. Именно информатика призвана стать научной базой формирования этого общества. Она имеет свои собственные методы научного исследования, наиболее известными из которых являются методы *информационного моделирования* и *информационного подхода*. Развитие этих методов является одной из важнейших методологических задач, использование которых позволит не только получить принципиально новые фундаментальные знания о природе, человеке и обществе, но и сформировать новую научную картину мира, новое научное мировоззрение и новую информационную культуру человека и общества.

Информатика сочетает в себе как естественно–научные, так и гуманитарные аспекты. Выделение **социальной информатики** как самостоятельного направления, определило области теоретических основ, структуризации её предметной области и способствовало формированию системы основных научных понятий.

Не менее важным шагом явилось и выделение в качестве самостоятельного научного направления **биологической информатики** как новой научной дисциплины, предметом исследования которой являются информационные процессы в биологических системах, живых организмах и растениях. Становится все более ясным, что влияние информационных процессов на развитие живой природы ранее явно недооценивалось. В научной печати появился ряд публикаций об экспериментах, свидетельствующих о том, что здесь мы имеем дело с новыми, еще не изученными явлениями информационного взаимодействия, которые происходят в процессе функционирования и развития объектов живой природы. Можно прогнозировать, что изучение этих явлений методами информатики позволит не только раскрыть новые фундаментальные закономерности реального мира, но и, возможно, использовать их при создании новых средств и комплексов технической информатики, а также принципиально новых искусственных информационных систем.

Аргументирована необходимость целенаправленного изучения информационных процессов в неживой природе. Активно развивается **физическая, химическая и математическая информатика (связанная с интеллектуальными системами)**.

*Наступает новый период развития информатики как междисциплинарного научного направления, которое будет выполнять интеграционные функции для других направлений науки, как естественнонаучных, так и гуманитарных.*

Проникновение идей и методов информатики в эти области диктуется потребностями и логикой развития самой фундаментальной науки, а также необходимостью решения ряда важных прикладных проблем. Оно обусловлено многообразием современных представлений об информации, являющейся фундаментальным понятием современной науки. Причина этого заключается в том, что *феномен информации по–разному проявляет себя в различных информационных средах*, то есть в тех конкретных условиях, в которых протекают информационные процессы, закономерности и методы, реализации которых и изучает информатика как фундаментальная наука. Поэтому в различных направлениях развития информатики (техническом, социальном, естественно–научном и др.) анализируются лишь вполне определенные аспекты проявления *феномена информации и информационных процессов*, которые обусловлены тем или иным видом информационной среды.

Именно *фундаментальность понятия информации и ключевая роль информационных процессов в развитии живой и неживой природы* и являются теми основными факторами, которые выдвигают информатику на уровень фундаментальных наук и ставят ее в один ряд с такими науками, как общая теория систем, синергетика, кибернетика, математика, физика, химия, биология. В современных энциклопедических словарях информатика определяется как комплексное междисциплинарное научное направление, оказывающее большое влияние на все остальные области научных исследований, передавая им свою методологию. Главными достижениями здесь является методология информационного моделирования и информационный подход к анализу различных объектов, процессов и явлений в природе и обществе. Именно поэтому *информатика как фундаментальная наука имеет исключительно большое значение для формирования современного научного мировоззрения.*

Формирование новой картины мира будет осуществляться в науке в ближайшие десятилетия, и это должно стать основой формирования *новой научной парадигмы*, в которой информационным аспектам будет отведена гораздо более важная роль.

Новая научная парадигма приведёт и к формированию нового понимания самой информатики, философские основы которой должны изучаться и в системе образования, начиная от школы – заканчивая университетом. Информатика как наука прошла целый ряд этапов эволюционного развития: сейчас она *изучает не только информационные процессы и создаёт новые технологии для технических систем, но исследует основные закономерности и методы реализации информационных процессов во всей природе и всём человеческом обществе, ставшем информационным обществом.*

Научные методы информатики (а именно методы информационного моделирования, создание виртуальной реальности, информационный подход как фундаментальный метод научного познания) открывают принципиально новые возможности для изучения как живой и неживой природы, так и человеческого общества в целом.

### 3.1 Социальная информатика

**Социальная информатика** в качестве нового научного направления возникла на стыке *информатики и фундаментальных гуманитарных наук – философии, социологии, психологии и даже юриспруденции.* Как новое научно–образовательное направление, она появилась именно в России, и не имеет прямых зарубежных аналогов. Впервые сам термин *социальная информатика* был введен в научный оборот А.В. Соколовым и группой его учеников в 1974 г., которые занялись проблемой изменения общественного сознания и влияния информатизации на жизнь современного общества.

Существует несколько подходов к научному статусу социальной информатики: её считают и *научной базой формирования информационного общества*, и самостоятельной наукой междисциплинарного направления, и отраслью информатики, изучающей *проблемы информатизации общества.* Сегодня социальная информатика стала самостоятельным направлением фундаментальных и прикладных исследований, предметом которых являются *социальные процессы, происходящие в современном информационном обществе, их воздействие на личность (особенно на молодёжь), на её мировоззрение, на развитие и положение человека в обществе.* Изменение социальных структур общества под влиянием информатизации происходит достаточно быстро, и зачастую общество не успевает к ним приспособиться.

Таким образом, весь комплекс проблем, связанных с *прохождением информационных процессов в социуме*, является предметной областью социальной информатики. Сюда относятся: *социологический анализ основных направлений внедрения информатики в общественную и социальную сферы, влияние информатизации на социальные явления, исследование влияния социальной среды на решение задач, стоящих перед информатизацией, и др.*

Специалистов по социальной информатике интересуют такие проблемы, как *влияние на общество Интернета, системы поддержки принятия решений, информационная безопасность, финансовая инженерия, компьютерная политология, методы информатики во всех общественных науках, и особенно в социологии*. Различные подходы к предметному полю социальной информатики не противоречат, а взаимодополняют друг друга, позволяя глубже изучить процессы информатизации общества, или шире – взаимодействия, коэволюции общества и информатики, что должно изучаться всеми общественными и гуманитарными науками.

Значительный вклад в развитие социальной информатики в направлении был сделан академиком А.Д. Урсулом, который полагал, что если фундаментальная часть социальной информатики – познание законов взаимодействия общества и информатики, то прикладная и нормативно-конструктивная ее части связаны с созданием информационного общества и гуманистической ориентацией процесса информатизации.

Сегодня вырисовываются **3 основные области** научного поиска: *социальные последствия и качественные изменения в обществе, за которые ответственен процесс информатизации; социальные условия и предпосылки информатизации, социальная направленность информатизации и её гуманистическая ориентация; феномены и процессы, в которых взаимодействие общества и информатики приняло формы уже целостных образований типа гибридного интеллекта с тенденцией объединения информатизации общества и гуманизации техники в единую систему.*

Среди функций социальной информатики А.Д. Урсулом выделяются: фундаментально – мировоззренческая, теоретико–методологическая и прикладная. Социальная информатика несёт функцию **выработки информационного мировоззрения**.

В предметно–содержательном плане социальные отношения столь же многообразны и подвижны. Это производственно–экономические и территориальные связи, политические, культурно–духовные, правовые, социально–бытовые и иные отношения. Именно этим обстоятельством объясняется *приложимость* социальной информатики к различным отраслям общественно–научного знания.

Социальная информатика уже успела создать прочную методологическую базу, накопить обширный объем теоретических и прикладных знаний и тем самым доказать свое право на статус самостоятельной отрасли научного знания. Однако востребованность обществом социальной информатики оказалось столь значительной, а проблемно–тематический диапазон ее конкретных приложений к различным сферам общественной жизни так велик, что темпы развития ее научного потенциала стали отставать от растущих запросов общественных наук и социальной практики.

На фоне современного кризисного этапа развития российского общества нужно развивать направление, связанное с **социальными аспектами информатизации**. Только глубокие теоретические исследования помогут России в будущем избежать множества серьезных отрицательных последствий информатизации общества, с которыми уже столкнулись развитые в информационном отношении страны.

Трудность становления социальной информатики связана, в значительной степени, с господствующей тенденцией технократического подхода к информатизации, с частым отождествлением понятий *информатизация* и *компьютеризация*.

На стыке с социальной информатикой активно развиваются прикладные или специальные области информатики, предметным полем которых является изучение проблем сбора, восприятия, регистрации, хранения, обработки и использования, соответствующих различным общественным сферам, видов социальной информации. Отношение к их существованию и развитию в среде ученых и специалистов по информатике неоднозначно: оно варьируется от абсолютно негативного до абсолютно позитивного.

В последнем случае считается очевидным, что общую информатику, в зависимости от вида обрабатываемой информации, можно разделить на *физическую, математическую, химическую, биологическую, медицинскую, экономическую, юридическую, педагогическую, социологическую, экологическую* и др., информатику.

В последнее время, наряду с *исторической, филологической* и др. информатикой появилась, что, видимо, вполне естественно, даже *христианская информатика*.

Исходными научными предпосылками формирования этих направлений считается либо **единство наук**, общественных и естественных, либо – наличие различных видов информации, либо – важность и необходимость изучения взаимодействия информатики с конкретными социальными системами. Например, социологическая информатика – с социологией как особой сферой научной деятельности, педагогическая информатика – с педагогической деятельностью и т.д. Очевидно, что любой вид *прикладной* информатики должна развиваться под методологическим влиянием как *своего предметного поля* – будь то математика, физика, химия, биология, медицина, социология, экономика, юриспруденция, и т.д., так и *социальной информатики*.

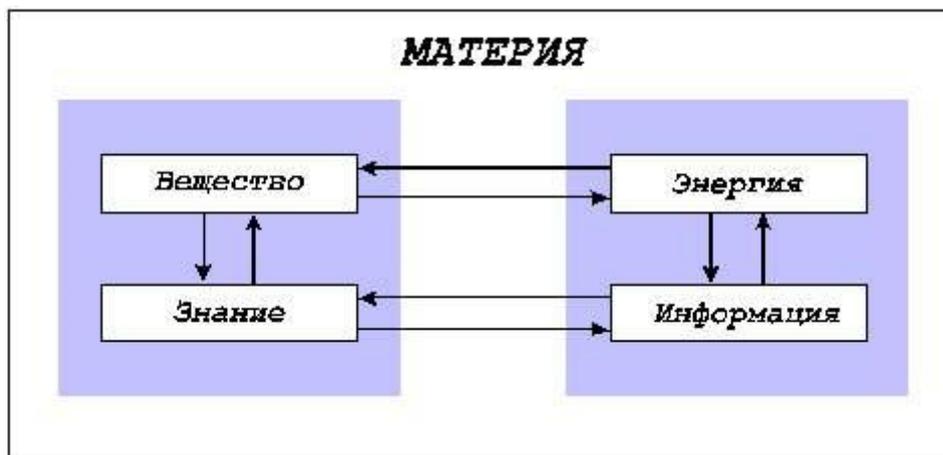
Среди трех составляющих информатизацию процессов: *компьютеризации, медиатизации и интеллектуализации* именно интеллектуализация, как уже было отмечено, должна иметь наивысший иерархический статус, составлять ядро информатизации общества. К сожалению, часто информатизация общества понимается исключительно лишь как процесс внедрения современных информационных технологий в социальную среду, поэтому существенно большее внимание уделяется процессам компьютеризации и медиатизации. В связи с этим, ряд российских ученых, в частности, Ю.М. Каныгин и К.К. Колин выдвигают настоятельное требование организовать в рамках работ по информатизации общества специальных прикладных исследований по повышению *интеллектуального уровня* социальных подсистем.

Оптимизация информационного процесса в современных условиях невозможна без использования социальных технологий (глобальных, внедренческих, обучающих).

Принципиально важным для анализа процессов информатизации общества является понимание и правильная адаптация основных базовых понятий информатики.

**Информационная технология.** Традиционно под информационной технологией понимается информационная технология на базе *«жестких алгоритмов»* (например, пакеты офисной информатизации). Под новой информационной технологией специалисты понимают информационную технологию на базе *«мягких алгоритмов»* с использованием достижений искусственного интеллекта (в качестве примера могут быть названы экспертные системы). Именно за данным видом информационных технологий – будущее социокультурного варианта информатизации.

**Материя, энергия, информация, знания – связь понятий.** Исходной посылкой для осмысления связи данных понятий является утверждение, что информация является семантической сущностью материи. Под материей понимается система, составные элементы которой – вещество, энергия, знания и информация. Эти элементы в соответствии с законом сохранения материи поддерживают систему в равновесном состоянии путем взаимных переходов из одной субстанции системы в другую. При взаимодействии этих элементов системы вещество выступает носителем знания, а энергия – носителем информации:



**Соотношение понятий информация, данные, знания.** Понятия – информация, данные, знания часто используются на практике как синонимы, тогда как в действительности это различные понятия. *Информацию* можно определить как всеобщее свойство материи, проявляющееся в кибернетических коммуникативных процессах. Информация, образно выражаясь, это знание для всех, а не только для себя. *Данные* – это сведения, служащие для какого – либо вывода и возможного решения. Они могут храниться, передаваться (в форме баз данных), но не могут уже выступать в качестве информации. *Знания* – результат познавательной деятельности, система приобретенных с ее помощью представлений о действительности. Информация всегда носит транспортный оттенок передачи знания по сетям связи, знание же всегда связано с его создателями: личностью или творческим коллективом.

Глубокая проработка и качественная интерпретация понятий социальной информатики позволит адекватно анализировать и прогнозировать развитие информационных процессов в современном обществе. В разработке понятийного аппарата наибольшее внимание должно уделяться понятиям информационной среды общества, информационных ресурсов и информационного потенциала общества.

**Информационные ресурсы общества (ИРО).** Несмотря на появление средств персональной информатики и частичное снятие информационного кризиса, актуальной и острой в мире остается проблема создания, сохранения и эффективного использования информационных ресурсов общества. Произошло формирование еще одного вида общественных ресурсов – информационных, позволяющего экономить большинство других ресурсов общества. ИРО в узком смысле слова – это знания, уже готовые для целесообразного социального использования, т.е. отчужденные от их создателей и материализованные знания. ИРО в широком смысле слова включают в себя все отчужденные от носителей и включенные в информационный обмен знания, существующие как в устной, так и в материализованной форме.

Существует представление, согласно которому в понятие ИРО должны быть включены и сами создатели – носители живого знания – ученые, специалисты и т.д. Эта позиция связана с тем, что вероятность отчуждения знаний от этих носителей и перевода их в информационный ресурс общества весьма высока.

Формирование и активное развитие на рубеже 80–х годов XX века понятия – **национальные информационные ресурсы** – было обусловлено растущей зависимостью промышленно развитых стран от источников информации, а также от уровня развития и эффективности использования средств передачи и переработки информации. *Национальные информационные ресурсы* – новая экономическая категория. Корректная постановка вопроса о количественной оценке этих ресурсов и их связи с другими экономическими категориями все еще ожидают крупномасштабных организационных мер для его разработки и потребуют длительных усилий специалистов и ученых самых разных областей знания. Уровень живого знания в каждой стране определяется историческим наследием, уровнем образования, профессиональной квалификации и т.д. Важной является проблема *утечки мозгов* из любой страны, так как знания, несомненно, являются национальным богатством.

Наиболее опасным по социальным последствиям, в аспекте ущерба для интеллекта нации, является внутренний поток, который означает уход людей из науки в другие сферы деятельности практически навсегда. Ученые и специалисты из внешнего потока, несмотря на отъезд для работы за рубеж, сохраняют себя в интеллектуально – профессиональном плане и, вероятно, в перспективе могут вернуться на родину. Сетевой поток занимает последнее место потому, что по сетям, в основном, реализуются не научные, а трудовые варианты деятельности.

В перспективе все информационные ресурсы будут обобществлены. Информация принадлежит всем – этот принцип узаконен ЮНЕСКО. Однако, отдавая свою информацию (знание) обществу, каждый должен получить компенсацию за свой труд. Недостаточная разработанность механизмов реализации права на интеллектуальную собственность сдерживает развитие национальных информационных ресурсов.

Только решение комплекса социально–технических проблем активизации информационных ресурсов, в принципе, позволяет создать необходимую для прогрессивного развития информационную среду общества.

**Под информационной средой общества (ИСО)** понимается единство социальной информации и средств осуществления информационного обмена. Информационная среда понимается как некое информационное пространство, в которое «погружается человек». Видимо, здесь уместна аналогия с воздушной и водной средами. При этом главное значение имеет качество информации. Качественная информационная среда дает человеку свободу особого типа – свободу от ожидания момента связи и свободу достижения возможностей, которые могли бы быть упущены.

К сожалению, в научной литературе информационная среда часто трактуется как синоним **техносферы**, что является отражением технократического подхода. Очевидно, что при этом подходе качество информации рассматривается как фактор второстепенный, что абсолютно не согласуется с требованиями социокультурного варианта информатизации. Сейчас во всем мире в процессе информатизации превалирует развитие ее программно–технических средств. Развивается парадоксальная ситуация, когда нередко очень качественной технологией обрабатывается некачественная, неадекватная социальным процессам информация.

Максимально эффективное использование информационного ресурса общества определяет **информационный потенциал общества** (ИПО) – это информационные ресурсы в единстве со средствами, методами и условиями, позволяющими его активизировать и эффективно использовать. Более кратко информационный потенциал можно определить как активизированные, введенные в действие информационные ресурсы. Особое значение имеют также подбор и расстановка кадров, подбор талантов, определение места и роли каждого индивидуального интеллекта – каждой личности в системе. Важно использовать методiku определения интеллектуальных способностей, профессиональной ориентации и другие, широко используемые за рубежом. Таким образом, необходимо обеспечить единство процессов компьютеризации, медиатизации и интеллектуализации общества.

У понятия «*информационный образ жизни общества*» существует два смысла. Во-первых, образ жизни людей в грядущем информационном обществе, где все стороны жизни пронизываются информационными отношениями, базирующимися на современных информационных технологиях. Во-вторых, информационный аспект современного образа жизни вообще, где *виртуальная реальность* и *виртуальная жизнь* (жизнь в Интернете) являются важнейшими слагаемыми.

**Мозаичная (сотовая, сетевая) структура общества.** Социальные микроструктуры гражданского общества децентрализованного типа называются *сотовыми*. Гражданское общество не может считаться развитым, если его малые изолированные ассоциации не будут соединены в более крупные соты, при этом сетевые образования второго и далее порядков указывают на степень зрелости такого общества. Многие исследователи отмечают, что конвергенция меняющихся общественных и личных ценностей с новой техникой и энерго-экономическими нуждами делает становление *мозаичного общества* неизбежным. Сотовая (сетевая) структура социальной организации, по мнению профессора М. Кастельса, существовала в любое время и в любых местах, однако парадигма новой информационной технологии обеспечивает материальную основу для проникновения такой формы в структуру общества. *Соты* как элементы социальных структур имеют не только территориальную основу, но и могут формироваться вне территорий, становясь транстерриториальными образованиями – виртуальными сетевыми сообществами.

**«Атомизация» общества.** Анализ и прогнозирование изменений социальной структуры общества всегда проводятся в предположении, что социальные связи выражены в той мере, что, в принципе, можно говорить об обществе как системе. Однако важно отметить, что проблема «*атомизации*» общества – его превращения в слабо связанные между собой слои и группы обсуждается сегодня учеными все шире. Известно, что в любом обществе наряду с интеграционными процессами, происходят и процессы социальной дифференциации. Однако в настоящее время, в условиях развития новых компьютерных и телекоммуникационных технологий, получение информации о происходящем в стране и в мире часто уже не требует непосредственного общения между людьми и, поэтому, человек может все больше и больше изолироваться от общества и подвергаться некой иллюзии независимости от него.

**Когнитивные структуры общества** – это институты семьи, образования, общественного мнения, ответственные за формирование и развитие знаний в обществе. Это важный фактор активизации информационных ресурсов общества.

**Оверстрата (сверхстрата, надстрата) общества.** В информационном обществе будет присутствовать три оверстраты – три степени свободы: по вещественной собственности; по собственности на управление и по интеллектуальной собственности. *Интеллектуальная оверстрата* – ведущая в информационном обществе. При этом личность, обладающая интеллектом, может продвигаться в высшие социальные слои и не имея вещественной и управленческой собственности.

**Виртуальные социальные группы и организации.** Под этим понимается устойчивая социальная целостность (группа) с разумным поведением, т.е. способностью выявлять и удовлетворять свои потребности, а также решать свои проблемы. Критерием выделения и существования виртуальной социальной группы является только интерес к определенному виду отношений. Атрибуты социальной группы традиционной социологии (экономические, половозрастные, доходные и другие признаки) в условиях информатизации практического значения не имеют, что вызывает необходимость развития новых социологических средств измерения и анализа. Виртуальная организации представляет собой новый тип организации, которая может быть создана благодаря развитию информационных технологий, в частности, благодаря расширению глобальных информационных сетей и развитию баз данных. Среди сильных сторон и новых возможностей виртуальной организации могут быть названы: свобода и быстрота вхождения в нее, высокая гибкость ее изменения, быстрое реагирование на изменения в социально-экономической среде, ее «надзаконность».

Особое значение имеет возможность установления связей с теми группами, которые в других условиях не пошли бы на установление отношений, а также отсутствие культурных, расовых и других предрассудков. Слабыми сторонами и опасностями развития виртуальных организаций являются большая величина вложений в информационные технологии, необходимость климата доверия между членами организации, возможность подключения некомпетентных участников, отсутствие законодательной основы деятельности (создаются условия для определенной бесконтрольности и трудноуловимых преступных сговоров), а также общая и психологическая неготовность (сопротивление) людей к новому типу деятельности.

**Информационный комфорт личности.** Средства обеспечения потребительского сервиса развиваются в направлении создания максимально благоприятных условий для передачи информации, причем эргономический аспект (комфортность) является ведущим. *В широком смысле* – это комплекс условий для интеллектуальных коммуникаций, самовыражения личности, широкого доступа каждого члена общества к знаниям (информационным ресурсам). *В узком смысле* – это состояние личности в момент информационного обмена, позволяющее осуществить его наиболее эффективным образом. Существует целый ряд факторов, определяющих информационный комфорт личности. Это психофизический комфорт, актуальность и переносимость информации, доступность и умеренность объема информации, авторитетность источника информации, соответствие информации социальным императивам, адекватность временного регламента, отсутствие помех (физического, синтаксического, семантического и прагматического шума), адекватность средств обмена и установок отправителя и получателя сообщений, а также управляемость и возможность контроля информационного обмена.

**Информационная культура** – это новый тип социального общения, дающий возможность свободного выхода личности в информационное пространство. Это свобода доступа к информации, как на локальном, так и на глобальном «наднациональном» уровне, что формирует новый тип мышления, формирующийся в результате освобождения человека от рутинной информационно–интеллектуальной работы.

Глубокой теоретической проработки требует соотношение понятий **информационная культура** и **информационная грамотность**. Впервые понятие «информационная грамотность» было введено в 1977 году в США, при этом под *информационно грамотным человеком понималась личность, способная выявить, разместить, оценить информацию и наиболее эффективно ее использовать*. Информационная культура в последние годы активно изучается. Основной проблемой компьютерной эпохи является *проблема диалектического единства визуальной и книжной культуры* – насущно необходимо соединить абстрактное, индивидуальное мышление книжной эпохи с образным мышлением визуальной эпохи.

Еще относительно недавно развитие современного общества характеризовалось как **социокультурное**, однако сегодня оно выглядит скорее как **технократическое**. Духовный, интеллектуальный потенциал общества все более идентифицируется с информационным потенциалом, вызывая изменения в культуре, языке, образе жизни и даже мышлении. Информация и информированность стали подменять знание; память – понимание, принятие решений – человеческие способы осмысливания и решения проблем; спонтанные эмоции и амбиции заменяют интеллектуальные чувства, творческие переживания, сочувствие и сотрудничество в проблемных ситуациях.

**Информационная безопасность** – состояние защищенности информационной среды общества, обеспечивающее ее формирование, использование и развитие в интересах граждан, организаций, государства. В последние годы в предметном поле исследований ученых и специалистов, занимающихся проблематикой информационной безопасности, была выделена предметная область *информационно–психологической безопасности*, под которой понимается такая ситуация в системе «человек – информационная среда», которая не вызывает снижения индивидуального или популяционного психологического потенциала за допустимые пределы.

Основными источниками **информационно–психологической опасности** являются объем, полнота, количество, точность, доступность, своевременность поступления информации; адекватность ее эргономических характеристик параметрам восприятия органов чувств, свойствам внимания, памяти, мышления, диспозициям личности, поведенческим стереотипам и социально–психологическим установкам общества. Особенно опасно наличие в информационных потоках специальных элементов, целенаправленно изменяющих психофизиологическое состояние людей, а также модифицированных физических носителей информации, воздействующих непосредственно на физиологические системы.

К факторам риска, присущим самому человеку, как элементу системы «человек – информационная среда», относятся: незрелость личности, выражающаяся в неспособности к осознанному выбору информации; установка личности на конформизм, подражательство; готовность к восприятию манипулятивных информационных воздействий; негативное функциональное состояние головного мозга и психики; состояния социума, способствующие повышенной тревожности, массовому заражению идеями, призывами, исходящими от харизматической личности.

**Компьютерная преступность как социальное явление** – это современный вариант проявления социальной девиации (отклонения). Различаются четыре основных вида компьютерных преступлений: компьютерное мошенничество; компьютерный терроризм, несанкционированный доступ к компьютерным системам и вирусописательство; копирование и продажа компьютерных программ в нарушение авторских прав, а также различные виды компьютерных злоупотреблений, например, случаи кражи данных, саботаж в вычислительных центрах и т.д. Уголовный Кодекс РФ ввел в России ответственность за компьютерные преступления, однако его практическому использованию мешает отсутствие в общественном сознании установки на осуждение компьютерной преступности, зачаточное *состояние* информационного права как правовой отрасли, недостаточное количество специалистов как по информационному праву, так и по правовой информатике.

**Компьютерофобия** – это социально–психологическое явление, выражающееся в отчуждении отдельных людей и социальных групп от быстро совершенствующейся компьютерной техники, от растущих и усложняющихся информационных потоков.

**Компьютеромания** как социально–психологическое явление выражается в приоритете общения с компьютером, а не с людьми, то есть в потере необходимой меры социализации личности (как правило, подростка). Используются термины «*интеллектуальная наркомания*», *игромания*. Очевидно, что **компьютерная преступность, компьютеромания и игромания** – взаимосвязанные социальные явления.

Эти явления представляют собой распространенные виды **социальной девиации**.

Причины этих явлений – отсутствие информационной культуры и компьютерной грамотности (в случае компьютерофобии), отсутствие научно–обоснованной молодежной политики и политики занятости населения, сформированных с учетом современных реалий (в случае компьютеромании и компьютерной преступности).

Этот вывод подтверждает трансформация образа **хакера** в общественном мнении. До недавнего времени предполагалось, что хакер – это бледный, постоянно сидящий за экраном своего компьютера подросток или юноша, лишенный всяких жизненных интересов и ломающий голову над какой–либо очередной системой защиты или выдумывающий какой–либо вирус. Сегодня **хакерство** стало очевидным способом «заработать на жизнь». Расширенная сеть компьютерных рынков позволяет сбывать огромное количество пиратской программной продукции, получать прибыль и организовывать нелегальный бизнес, где в качестве основной рабочей силы и находятся хакеры – обычные молодые люди, получившие программистское образование.

Существуют и субъективные причины компьютерной преступности. Так, попытка молодых людей реализовать себя в **вирусописательстве** часто связана с желанием самоутвердиться, а также с отсутствием осознанных жизненных целей.

К конкретным социальным группам, отождествляемым с **киберпанками**, по мнению специалистов, относятся **хакеры, кракеры и фриеры**. *Хакеры* – сливки компьютерного сообщества, люди, прекрасно разбирающиеся в тонкостях работы компьютера. *Кракеры* – реальные аналоги взломщиков, «ковбоев компьютера» из фантастики в стиле киберпанков, вламывающиеся в компьютерные системы, как для незаконного обогащения, так ради удовольствия. *Фриеры* – это те, кто занимается аналогичными вещами в телефонных мобильных сетях, изобретая способы оставить телефонные компании без причитающейся им платы за услуги.

Особняком стоят **рейверы**. К ним относятся поклонники синтетической музыки, компьютерного психоделического искусства, искусственных наркотиков.

Понятия «*хакеры*» и «*кракеры*» имеют различия. Многие социологи считают, что *хакер* (hacker) – это программист, способный писать программы без предварительной разработки детальных спецификаций и оперативно вносить исправления в работающие программы, не имеющие документации, в том числе и непосредственно в машинных кодах, что требует высочайшей квалификации. Компьютерным *взломщиком* скорее можно назвать *кракера* (cracker) – пользователя вычислительной системы или компьютерной сети, занимающегося поиском незаконных способов получения доступа к защищенным ресурсам, например, конфиденциальной информации.

**Хакером** часто называют квалифицированного программиста–фанатика, занимающегося доскональным изучением тонких мест в работе вычислительных систем с целью расширения их возможностей и устранения «*брешей*» в их безопасности.

В узком смысле слова *хакер* – это представитель определенной социальной группы, субкультуры, нетрадиционно реализующей себя в условиях новой информационной реальности, т.е. носитель определенного стиля жизни. В широком смысле слова – это синоним компьютерного правонарушителя и компьютеромана. Криминализация содержания понятия *хакер* связана с отсутствием социального регулирования процессов самореализации молодежи в информационной среде.

Многие специалисты считают, что нужно придерживаться разграничения понятий (дефиниции) *компьютерного пирата* или *хакера*, варьирующейся от лица, ставшего маньяком своей работы до лица, использующего свои умения для запрещенного доступа к компьютерным программам, системам и базам данных. Основными мотивами данной проблемы считается отсутствие законов и практики защиты авторских прав на программные продукты, а также интеллектуальное соперничество. Вторичными мотивами являются недостаточная востребованность квалифицированных специалистов, отсутствие системы этических норм, любознательность. В западных же странах причины распространения компьютерных вирусов скорее интеллектуальные (соперничество, любопытство и т.д.), чем юридические и экономические.

Однако, с технократической точки зрения, компьютерная преступность возникает вследствие недостатков работы самих компьютерных систем. Многие профессиональные программисты считают, что компьютерные операционные системы (например, Windows) должны быть защищены программно, а не законодательно. Это – единственная надежда, что слабые места в них будут исправляться. Если хакерство станет уголовно наказуемо, то «*дырки*» в программном обеспечении всё равно останутся, и исправлять их будет уже некому, и никому не нужно. Сейчас хакеры практически безнаказанны, за редким исключением, и это гарантия того, что программисты будут внимательно относиться к безопасности разрабатываемых продуктов. Хакеры выполняют скорее полезную функцию, они – своеобразные компьютерные санитары.

*Явление хакерства*, в целом, является междисциплинарной проблемой и, помимо социальной информатики, вписывается в общеметодологические подходы, например, социологии молодежи, что должно найти своё отражение в молодёжной политике государства. Кроме того, в эпоху информационных войн, хакеры, как высококвалифицированные специалисты, очевидно, могли бы послужить на благо государства.

### 3.2 Биологическая информатика

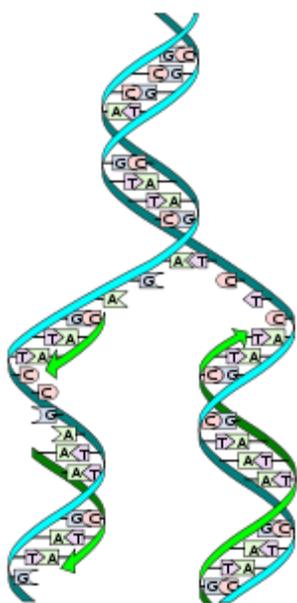
**Биологическая информатика (биоинформатика)** представляет собой совокупность методов и подходов, включающих в себя: математические методы компьютерного анализа в *сравнительной геномике (геномная биоинформатика)*; разработку алгоритмов и программ для предсказания пространственной структуры белков (структурная биоинформатика), исследование стратегий и создание вычислительных методологий управления биологическими системами.

В биоинформатике используются методы *прикладной математики, статистики и информатики*. Биоинформатика используется в *биохимии, биофизике, экологии* и в других областях фундаментальной науки. Эта наука появилась в 1970 г., когда, опираясь на признание важной роли передачи, хранения и обработки информации в биологических системах, *Полина Хогевег* ввела этот термин, определив его как изучение информационных процессов в биотических системах.

В качестве примеров биологических информационных процессов, изучавшихся в первые годы существования биоинформатики, можно привести сложные структуры социального взаимодействия по простым поведенческим правилам, а также хранение и техническое обслуживание информации в моделях биогенеза и абиогенеза.

В начале **геномной революции** термин «*биоинформатика*» был открыт заново, и обозначал создание и техническое обслуживание базы данных для хранения биологической информации, такой как последовательности нуклеотидов. Создание таких баз данных включало в себя создание комплексного интерфейса, позволяющего исследователям запрашивать имеющиеся данные и добавлять новые.

**Главная цель биоинформатики** — способствовать пониманию биологических процессов. Отличие биоинформатики от других подходов состоит в том, что она фокусируется на создании и применении интенсивных вычислительных методов для достижения этой цели. Примеры подобных методов: распознавание образов, алгоритмы машинного обучения и визуализация биологических данных. Основные усилия исследователей направлены на решение задач выравнивания последовательностей, нахождения генов (поиск региона ДНК, кодирующего гены), расшифровки генома, конструирования лекарств, разработки лекарств, выравнивания структуры белка, предсказания структуры белка, предсказания экспрессии генов и взаимодействий «белок–белок», полногеномного поиска ассоциаций и моделирования процессов эволюции. Биоинформатика сегодня подразумевает создание и совершенствование баз данных, алгоритмов, вычислительных и статистических методов и теории для решения многих практических и теоретических проблем, возникающих при управлении биологическими процессами и анализе биологических данных. Таким образом, современная генетика, эволюционная биология, вычислительная биология и другие информационно-ёмкие отрасли фундаментальной биологии нуждаются в методах информатизации и компьютеризации, алгоритмизации и программирования, информационных технологиях, без которых немыслима сама обработка данных.



Важнейшая задача – обработка гигантского количества данных, получаемых при расшифровке последовательности ДНК

**Анализ генетических последовательностей.** С тех пор как в 1977 году был расшифрован (секвенирован) фаг Phi-X174, последовательности ДНК всё большего числа организмов были дешифрованы и сохранены в базах данных. Эти данные используются для определения последовательностей белков и регуляторных участков.

**Сравнение генов** в рамках одного или разных видов может продемонстрировать сходство функций белков или отношения между видами (таким образом, могут быть составлены филогенетические деревья). С возрастанием количества данных уже давно стало невозможным вручную анализировать последовательности. В наши дни для поиска, по геномам, тысяч организмов, состоящих из миллиардов пар нуклеотидов, используются компьютерные программы. Программы могут однозначно сопоставить похожие последовательности ДНК в геномах разных видов; часто такие последовательности имеют сходные функции, а различия возникают в результате мелких мутаций, таких, как замены отдельных нуклеотидов, вставки нуклеотидов, и их выпадения (удаления). Один из вариантов такого выравнивания применяется при самом процессе секвенирования.

Техника **дробного секвенирования** была использована Институтом генетических исследований для расшифровки (секвенирования) первого бактериального генома вместо полной последовательности нуклеотидов даёт последовательности коротких фрагментов ДНК (каждый длиной около 600—800 нуклеотидов). Концы фрагментов накладываются друг на друга и совмещаются, что даёт полный геном. Такой метод быстро даёт результаты секвенирования, но сборка фрагментов может быть очень сложной задачей для больших геномов. В проекте по расшифровке генома человека сборка заняла несколько месяцев компьютерного времени. Сейчас этот метод применяется для всех геномов, и алгоритмы сборки геномов являются одной из острейших проблем биоинформатики на сегодня.

Другим примером компьютерного анализа генетических последовательностей является автоматический поиск генов и регуляторных последовательностей в геноме. Не все нуклеотиды в геноме используются для задания последовательностей белков. В геномах высших организмов большие сегменты ДНК не кодируют белки, и их функциональная роль неизвестна. Разработка алгоритмов выявления участков генома, кодирующих белки, является важной задачей современной биоинформатики.

Биоинформатика помогает связать геномные и протеомные проекты, помогая в использовании последовательности ДНК для идентификации белков.

**Аннотация геномов.** В контексте геномики *аннотацией* называется процесс маркировки генов и других объектов в последовательности ДНК. Первая программная система аннотации геномов была создана в 1995 г. *Оуэном Уайтом*, работавшим в команде, секвенировавшей и проанализировавшей первый декодированный геном свободноживущего организма, бактерии. Доктор Уайт построил систему для нахождения генов, РНК и других объектов ДНК, и сделал первые обозначения функций этих генов. Большинство современных систем работают сходным образом, и эти программы постоянно развиваются и улучшаются.

**Вычислительная эволюционная биология.** Эволюционная биология исследует происхождение и появление видов, также как их развитие с течением времени. Информатика помогает эволюционным биологам в нескольких аспектах:

- изучать эволюцию большого числа организмов, измеряя изменения в их ДНК;
- сравнивать целые геномы, что позволяет изучать комплексные эволюционные события: дупликацию генов, латеральный перенос генов, бактериальные факторы;
- строить компьютерные модели популяций для изучения биосистемы во времени;
- отслеживать публикации по эволюции большого количества видов.

Область компьютерных наук, использующая генетические алгоритмы для решения биологических задач, также связана с компьютерной *эволюционной биологией*.

Работа в этой области использует специализированное программное обеспечение для улучшения алгоритмов и вычислений. Принцип исследований основывается на эволюционных методах и принципах, таких, как репликация, диверсификация, рекомбинация, мутация, выживание в естественном отборе.

**Оценка биологического разнообразия.** Биологическое разнообразие экосистемы может быть определено как полная генетическая совокупность определённой среды, состоящая из всех обитающих видов, была бы это биоплёнка в заброшенной шахте, капля морской воды, горсть земли или вся биосфера планеты Земля. Для сбора видовых имён, описаний, ареала распространения, генетической информации используются базы данных. Специализированное программное обеспечение применяется для поиска, визуализации и анализа информации. Компьютерные симуляторы моделируют популяционную динамику, вычисляют общее генетическое здоровье биологической культуры в агрономии.

Один из важнейших потенциалов этой области заключается в анализе последовательностей ДНК или полных геномов целых вымирающих видов, позволяя запомнить результаты генетического эксперимента природы в компьютере и возможно использовать вновь в будущем, даже если эти виды полностью исчезнут.

Часто из области рассмотрения биоинформатики выпадают методы оценки других компонентов биоразнообразия — таксонов (в первую очередь видов) и экосистем. В настоящее время математические основания биоинформационных методов для таксонов представлены в рамках такого научного направления как фенетика, или численная таксономия. Методы анализа структуры экосистем рассматриваются специалистами таких направлений как системная экология, биоценометрия.

**Биоинформатика и вычислительная биология.** Под биоинформатикой понимают любое использование компьютеров для обработки биологической информации. Под ним понимают использование компьютеров для обработки экспериментальных данных по структуре биологических макромолекул (белков и нуклеиновых кислот) с целью получения биологически значимой информации. Термины *биоинформатика* и *вычислительная биология* указывают на разработку алгоритмов и конкретные вычислительные методы. Использование вычислительных методов в биологии связано также с математическим моделированием биологических процессов.

**Биоинформатика** использует методы прикладной математики, статистики и информатики. Исследования в вычислительной биологии пересекаются с системной биологией. Основные усилия исследователей направлены на изучение геномов, анализ и предсказание структуры белков, взаимодействий молекул белка друг с другом и другими молекулами, что необходимо для реконструкции эволюционных процессов.

### 3.3 Математическая информатика

**Математическая информатика (матинформатика)** представляет собой совокупность методов информатики и компьютерных технологий для решения математических задач. Этот термин был введён российским учёным акад. А.В. Чечкиным в 1991 г., в одноимённой монографии. Информатика здесь рассматривается как наука об интеллектуальных системах различного назначения. Математические вопросы информатики описываются на основе понятия **ультраоператоров**. Это даёт возможность применить единый информационный подход к математической логике, вычислительной и дискретной математике и др. Такой подход позволяет решать вопросы создания автоматизированных интеллектуальных и экспертных систем.

В математической информатике находят своё естественное место все разделы **неклассической математики** – математическая логика, вычислительная и дискретная математика, конструктивная математика, математическая статистика, теория информации, теория языков и грамматик, теория нечётких множеств, теория рекурсивных функций, теория алгоритмов и функциональных языков, теория программирования и др. Эти и многие другие разделы математики являются основами компьютерных наук, на которых базируются последние достижения в области искусственного интеллекта (продукции, фреймы, семантические сети, предикаты и т.д.).

В настоящее время информатика стала центральной наукой современного фундаментального естествознания, распространяя свои методы на все сферы науки. Предметом информатики являются интеллектуальные системы, связанные с контролем и диагностикой, прогнозированием и проектированием, системами управления, экспертными системами и др. Системы искусственного интеллекта давно стали реальностью нашего времени. Соединённые информационными связями в сети с естественным интеллектом, и между собой, они образуют интеллектуальные системы с разнообразными предметными областями. Главными базовыми элементами интеллектуальных систем являются ультрасистемы – своего рода ячейки интеллекта.

В современной математике **классические разделы** – это арифметика, алгебра, геометрия, математический анализ, теория дифференциальных уравнений и др. Понятия **классической математики**, в основном, служат для моделирования предметной области, тогда как моделирование информационной области требует существенно других понятий, относящихся к неклассической математике. Классическая математика позволяет успешно строить модели и исследовать различные виды объектов предметной области – детерминированные и стохастические, стационарные и динамические, линейные и нелинейные, одномерные и многомерные, и т.д.

**Неклассическая математика** находится в стадии бурного развития. Сегодня формируются многие новые разделы – например, теория разностных схем, теория кубатурных формул, методы решения некорректных задач, теория семантической информации, элементы теории ультраоператоров, и др. Специальные вопросы неклассической математики, находящиеся на стыке двух наук, изучает **математическая информатика**, которой ещё предстоит пора окончательного становления. Для неё характерен единый информационный подход по отношению, например, к математической логике, вычислительной, дискретной, конструктивной математикам.

**Математика** – единый мир идеальных математических объектов и является отражением природы во всех её проявлениях. В природе нет такой области, которую нельзя было бы изучать и моделировать математическими средствами. Разумеется, в природе имеются системы, требующие очень сложных математических моделей или такие, для которых необходимо создание новых математических понятий. Математика является живым организмом, который находится в движении и развитии. Это вызвано увеличивающимися потребностями практики для дальнейшего познания природы и разумного переустройства мира, а также внутренними потребностями саморазвития, совершенствования теорий, что проявляется в красоте математики.

Классические и неклассические разделы математики обычно соотносят **с чистой и прикладной** математикой. Практика показывает, что для решения многих задач, например, программирования, независимо от их прикладного назначения, используются как классические, так и неклассические разделы. Часто совершенно невозможно отделить их друг от друга в различных приложениях из-за их тесной взаимосвязи.

В истории человечества выделяются три периода – **сельскохозяйственный, промышленный (индустриальный) и информационный (постиндустриальный)**.

На развитии математики в первую очередь сказываются особенности деятельности человека на данном этапе развития цивилизации. Так, в XVI–XVII веках потребности практики привели к развитию методов математического моделирования динамических систем, созданию дифференциального и интегрального исчисления. В результате появилась новая дисциплина – математический анализ. В XIX–XX веках особенно выделились системы с распределёнными параметрами, всевозможные сплошные и дискретные среды, к которым относятся твёрдые, жидкие и газообразные вещества, электромагнитные, гравитационные и другие поля, разнообразные микро- и макро-структуры. Именно в это время в математике появились и развились такие разделы, как: математическая физика, теория вероятностей, теория групп, функциональный анализ. В настоящее время внимание привлечено к системам существенно нового класса – интеллектуальным системам, включающим различного рода экспертные системы, автоматизированные системы управления, наблюдения, диагностики, проектирования и др. Сегодняшний этап определяется всеобщей **интеллектуализацией**.

Спросим себя, в чём отличие типовых систем XX и XXI веков, например, от кораблей, автомобилей, самолётов и т.д.? Основное отличие современных систем – в их более высокой эффективности, которая достигается интеллектуализацией систем, то есть оснащением этих систем различного рода компьютерными устройствами оптимизации, контроля и диагностики. Интеллектуальные системы преобразовывают информацию, собирают, сохраняют, перерабатывают и передают её по сетям.

**Третий период развития цивилизации**, соответствующий информационному обществу, вызвал новый период и в развитии математики, которая на современном этапе призвана стать основой информационного и программного обеспечения систем виртуальной реальности, моделировать происходящие в них интеллектуальные информационные процессы и создавать системы искусственного интеллекта.

В чём же по существу заключается отличие классической и неклассической математики? По-видимому, главное отличие кроется в различных принципах задания точки. Понятие «точки» как элемента множества является первичным математическим понятием. Оказывается, задание точки может быть различным: в классической математике господствует принцип абсолютного задания точки, в неклассической математике – принцип информационного задания точки.

**Принцип абсолютного задания точки:** всякая рассматриваемая точка непустого множества известна абсолютно, и при этом она отождествляется со своим индивидуальным именем – идентификатором. Именно такие точки участвуют в функциях, операторах, бинарных отношениях, алгебраических операциях и т.д. Принцип абсолютной точности пронизывает все разделы классической математики.

**Принцип информационного задания точки:** про всякую точку непустого множества известна лишь некоторая информация. При этом возможна максимальная информация, когда точка известна с максимальной точностью, т.е. абсолютно. Например, в математической логике всякое истинное высказывание о точке (предикат) несёт только некоторую информацию об этой точке. В вычислительной математике всякое приближённое значение точки задаёт лишь сведение о ней, например, о форме некоторой области (окрестности), содержащей эту точку. Принцип информационного задания точки включает в себя, как частный случай, и принцип абсолютного задания точки, который соответствует предельному случаю максимальной информации о точке. Следовательно, информационный принцип может считаться универсальным и единым для всей математики. При этом неклассические разделы математики являются более общими (обобщающими), а классические – более идеальными разделами, т.е. математической идеализацией. Таким образом, математика XXI века базируется на центральном понятии – информации.

**Математическое моделирование искусственного интеллекта** включает модели двух типов – классической и неклассической математики. Новые математические понятия – информация о точке, опорные сети и ультрасети, решётки и шкалы понятий, ультраоператоры и т.д. позволяют моделировать интеллектуальные системы.

Термин **ультрасистема** соответствует термину ЛПР (лицо, принимающее решение) и отражает феномен интеллекта – естественного или искусственного. Ультрасистема – это преобразователь *семантической (смысловой)* информации. Математическое описание такого преобразователя привело к понятию **ультраоператора**.

**Теория ультраоператоров и является** основой математической информатики.

Сегодняшний этап развития человеческой цивилизации определяется всеобщей компьютеризацией и интеллектуализацией. Появление и развитие неклассических разделов современной математики, в основном, вызвано потребностями математического моделирования компьютерных и/или интеллектуальных систем. В этих разделах отражается центральное понятие научного познания – информация.

**Семантическая информация.** Здесь ключевым понятием является **объект** – первичное и строго не определяемое понятие. Оно всегда противопоставляется другому, двойственному для него понятию – **субъект**. Субъект обладает способностью воспринимать, преобразовывать и использовать информацию об объекте.

**Объект** – это одно из самых общих понятий, так как трудно привести пример того, что не является объектом. Ведь всё, что познаётся, изучается или эксплуатируется человеком, является объектом, и на физическую природу объектов никаких ограничений не накладывается. Существуют **реальные и идеальные объекты**, в частности, математические объекты – идеализации. Среди объектов выделяются **системы**, представляющие собой совокупность элементов (объектов), находящихся в сложных взаимосвязях и отношениях друг с другом. При этом системы образуют определённую целостность и единство. Любой объект им соответствующий ему субъект уже образует систему. Такую систему можно назвать **интеллектуальной**.

Центральным понятием является **информация об объекте**, что по-другому называется **семантической информацией**. Понятие **сведения об объекте** предполагает, что всякий объект обладает определёнными свойствами, проявляющимися при взаимодействии с другими объектами. Если зафиксировать некоторую систему и в качестве одного из её элементов помещать тот или другой объект, то система будет каким-то образом реагировать на эти объекты – например, изменять цвет, перемещаться или деформироваться. Следовательно, такую систему можно считать своеобразным **испытательным стендом (датчиком)**, в который помещён объект. Конкретная реакция такого стенда определяет конкретное свойство объекта. Всякое свойство объекта проявляется в рамках того или иного стенда. Например, свойство объекта двигаться, развиваться, эволюционировать и т.д. подразумевает использование соответствующего стенда, на котором это могло бы фиксироваться или проявляться. Даже такое внутреннее свойство объекта, как наличие у него составных частей, т.е. элементов системы, подразумевает некий стенд, в котором происходит выделение частей объекта, разделение объекта на элементы и их регистрация.

Проанализируем более сложное понятие – **данные об объекте**. Здесь наряду с отдельными сведениями об объекте имеют дело с наборами (семействами) сведений о конкретном объекте. При этом используется **семантический указатель** и определяется **семантическая достоверность сведений об объекте**. Формируется семейство подмножеств опорного множества, и находится семантическая достоверность  $P$  сведения. Если  $P$  является скалярной величиной, равной единице, то сведение является истинным. Возникает вопрос: всегда ли данные об объекте представляют собой конечное семейство? Данные об объекте могут иметь большое количество сведений, и могут быть бесконечными. В жизни постоянно встречаются и более сложные данные, особенно в гуманитарных науках, в искусстве, в литературе и т.д. Например, описания конкретного вида цвета, запаха, голоса, звука, вкуса, внешности, пейзажа и т.д. представляют собой не что иное, как семейства сведений. Такие сведения приобретают на практике, в процессе обучения. Например, любой цвет предмета представляет собой семейство из сведений о самых разных оттенках трёх базовых цветов.

Совпадают ли между собой понятия **данные** и **информация** об объекте? Оказывается, эти понятия различны: можно привести примеры различных данных об одном объекте, которые определяют одну и ту же информацию об этом же объекте. Понятие **информация об объекте** определяется как такое семейство сведений об этом объекте, к которому принадлежат, наряду с каждым сведением из этого семейства, также и все их простейшие очевидные логические следствия. **Носителем информации** об объекте будет такая часть сведений из этой информации, простейшие логические следствия из которой будут полностью определять информацию. У одной информации могут быть различные носители. Тогда они являются эквивалентными. В общем случае информация об объекте и её носитель не совпадают, но по любому своему носителю информация однозначно определяется. Например, носителем информации является любое одиночное сведение об объекте, любые данные об объекте.

**Системы с интеллектуальными свойствами.** Вместо термина **субъект-объект** будем использовать термин **интеллектуальная система**. Это связано с тем, что понятие **субъект** обычно ассоциируется с одушевлённым предметом. Однако существуют разнообразные технические устройства, обладающие качествами высокоорганизованной материи, то есть осуществляющие сбор, хранение, преобразование, использование и передачу семантической информации.

Поэтому для любых систем с интеллектуальными свойствами, независимо от того, одушевлённые они или нет, используется термин **интеллектуальная система**.

**Интеллектуальный датчик.** Сбор и пополнение данных (сведений) об объектах определённого типа соответствуют действиям интеллектуальной системы, называемой интеллектуальным датчиком. В качестве такого датчика может выступать человек, коллектив людей или техническое устройство. Например, это может быть сбор лабораторный анализ отдельных образцов материалов, минералов, химических веществ и т.д., испытания на полигоне опытных образцов техники, военная разведка сил противника, наблюдения за изменяющимися процессами, комиссия по проверке. Отличие интеллектуального датчика от неинтеллектуального состоит в том, что в первом всякое свойство жёстко привязывается к объекту, который этим свойством обладает. Например, имеется измерительный прибор для каких-то исследований. Этот прибор будет интеллектуальным датчиком в том случае, если любое его показание однозначно связывается с именем (названием) измеряемого объекта. Сами по себе термометр, манометр, спидометр не являются интеллектуальными датчиками, пока из показания не будут однозначно связаны с именем измеряемого объекта.

**Интеллектуальный исполнитель.** Поиск некоторого объекта из определённого множества объектов по имеющимся данным является действием интеллектуальной системы, называемой **интеллектуальным исполнителем**. Его работа заключается в последовательном исключении объектов из рассмотрения, с учётом имеющихся сведений об искомом объекте из заданного множества объектов. Например, рабочий, изготавливающий по чертежам некоторое изделие, является интеллектуальным исполнителем. Чертеж является сведениями о конкретном объекте, а заданное множество – это всевозможные объекты, которые рабочий может сделать в принципе. Примерами интеллектуальных исполнителей является бригада работников, выполняющих заказ; завод, цех, коллектив, изготавливающий некоторые изделия; военное подразделение, выполняющее приказ начальника, и др. Программист, модельер, парикмахер, библиотекарь, продавец, и другие люди, выполняющие заказы, т.е. по имеющимся данным подбирают клиенту желаемый объект – также интеллектуальные исполнители. Робот, который по имеющимся данным может найти или изготовить нужный объект, вычислительный центр, компьютер, с помощью которого можно найти нужные сведения в Интернете, гибкое автоматизированное производство, конвейер на производстве, GPS- навигатор в автомобиле – это примеры **технических интеллектуальных исполнителей**.

**Накопитель данных.** Работа по составлению и ведению справочников, картотек, собраний документов, результатов измерений и наблюдений и т.д. также представляет собой действия интеллектуальной системы, называемой **накопителем данных**. Действия такого накопителя состоят в пополнении данных от различных источников сведений об объектах и выдачи таких сведений пользователям. Пополнение данных в накопителе происходит только по его запросам к источникам. После получения очередных данных накопитель помещает их на хранение вместе с другими сведениями, т.е. пополняет базу данных. Выдача сведений накопителем производится также только по запросам от пользователей. Пример – справочное бюро вокзала, информационно-справочные системы организаций, электронные библиотеки и др. Накопителем может быть как человек, или коллектив людей, так и автоматизированная система с использованием компьютерных сетей.

**Ультрасистема.** Преобразователь данных одного множества  $X$  в данные об объектах другого множества  $Y$  является *ультрасистемой*. Это особо важный вид интеллектуальных систем, принимающих решения. Хорошим примером ультрасистемы является *Лицо, принимающее решения* (ЛПР), так как его деятельность состоит в получении данных о необходимых мероприятиях (операциях по данным) об исходной ситуации. Специалист, решающий конкретную задачу, конструкторское бюро, разрабатывающее новую техническую систему (самолёт, ракету, корабль и т.д.), военачальник со штабом, разрабатывающий план военной операции, врач, ставящий диагноз, механик, ремонтирующий автомобиль, система автоматизированного проектирования, диагностическая система – различные примеры ультрасистем.

Главная особенность ультрасистемы – преобразование данных об одном объекте в сведения о другом объекте. Возможен частный случай ультрасистем, для которых входные и выходные данные относятся к одному и тому же объекту. Такие ультрасистемы называются **сингулярными**. Если сингулярная ультрасистема преобразует одни данные об объекте в эквивалентные данные о том же объекте, то есть и входные, и выходные данные являются носителями эквивалентной информации об объекте, то такая ультрасистема называется **транслятором**. Перевод данных с одного языка на другой, перевод десятичной записи в двоичную, перевод компьютерной программы с языка высокого уровня на машинный язык и т.д. осуществляется транслятором. Такую работу можно сравнить с распознаванием образов. В этом случае один язык – этот язык признаков объекта, а другой – это язык классов объекта. Например, отгадывая загадки, человек переводит признаки объекта в классы объекта.

Если сингулярная ультрасистема преобразует данные в результаты, несущие меньшую информацию, то она называется **обобщающей**. Например, при подготовке данных для вышестоящей организации часто отбрасываются несущественные сведения и сохраняются только важные; при передаче данных по каналам связи возможны потери и искажения – всё это примеры обобщающих ультрасистем.

Если сингулярная ультрасистема на выходе выдаёт данные, несущие большую информацию о системе, чем было на входе, то она является **уточняющей**. Например, студент, читающий научную литературу с целью узнать больше об интересующем его вопросе, специалист, исследователь, ищущий нужные сведения, автоматизированная компьютерная система поиска данных – это примеры уточняющих ультрасистем.

Обсудив основные виды интеллектуальных систем – датчики, исполнители, накопители и ультрасистемы, называющиеся *базовыми системами*, перейдём к более сложным интеллектуальным системам – экспертным системам, системам управления, и др., в которых присутствуют как элементы, описанные выше базовые системы.

**Экспертная система** – это сеть базовых интеллектуальных систем на основе информационных связей, в которую могут входить датчики, накопители, ультрасистемы, но не исполнители. Экспертная система является многоуровневой иерархической системой без исполнителей на нижнем уровне. Работает система по запросам, и для ответа на запрос привлекаются косвенные данные о различных объектах, которые преобразуются ультрасистемами в данные о необходимом объекте. Например, консилиум специалистов для диагностирования заболевания, комиссия по расследованию причин аварии, совещательный орган, и др. – это примеры экспертных интеллектуальных неавтоматизированных систем. Сейчас разработано большое количество автоматизированных систем, выполняющих аналогичные функции.

По существу, автоматизированная экспертная система – это система чтения знаков – букв из некоторого алфавита. Такая система должна иметь датчик признаков изображённого знака и сингулярную ультрасистему (транслятор), переводящую данные о знаке алфавита с языка признаков на язык классов.

**Система управления** – это сеть базовых интеллектуальных систем с информационными связями, в которую обязательно входят датчики и исполнители. Система управления также является многоуровневой иерархической, но на нижнем уровне у неё обязательно должны быть датчики и исполнители. Объект управления определяется в предметной области системы управления датчиками и исполнителями по принципу обратной связи. Например, любой водитель транспортного средства, вместе с приборами пульта управления, является системой управления. Разнообразные автоматизированные и неавтоматизированные системы управления применяются во всех сферах жизни современного общества.

**Сложная система.** Само название подчёркивает огромные трудности, связанные с исследованием, созданием, эксплуатацией, ремонтом и т.д. таких систем. Отличительными признаками сложных систем являются: наличие большого числа взаимно связанных взаимодействующих между собой элементов; сордность функций, выполняемых системой; возможность разбиения на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели; наличие взаимодействия с внешней средой; функционирование в условиях воздействия случайных факторов; наличие информационной сети, потоков данных, часто имеющих иерархическую структуру. Система называется сложной, если её можно разбить на такие части (подсистемы), среди которых имеется интеллектуальная система. Всякая интеллектуальная система (ИС) обладает качествами высокоорганизованной материи. Любая ИС имеет свою предметную область, с которой связана вся её деятельность, свою информационную область, которая является основной частью системы и представляет собой сеть накопителей и ультрасистем. ИС имеет интеллектуальные датчики и исполнители, которые называются **терминальными элементами** и осуществляют связь между предметной и информационной областями. С помощью датчиков происходит сбор сведений об объектах, с помощью исполнителей – воздействие на предметную область со стороны информационной системы.

**Наука об интеллектуальных системах** строится вокруг центрального понятия **информация**, которая должна быть **семантической**. Традиционная (по Шеннону) теория информации, являющаяся частью теории связи, изучает методы кодирования сообщений различных источников и проблемы надёжной передачи сообщений по каналам связи с шумом. Семантика (смысловая часть) сообщений здесь остаётся в стороне, и семантическая информация не является предметом этой теории. Это понятие отсутствует и в традиционной (по Винеру) кибернетике, в которой господствует принцип обратной связи и жёсткая привязка сигналов к объекту управления. Интеллектуальные системы не являются предметом исследования кибернетики. Тем не менее, в различных сферах управления необходимость в интеллектуальных системах управления всё более настоятельна. Реально каждый объект управления уникален и изменчив, значит, система управления должна реагировать на семантический указатель данных. Часто управление ведётся не одним объектом, а многими, а в этом случае семантический указатель сведений об этих объектах становится обязательным.

Возрастает внимание к более высоким иерархическим уровням управления, которые ранее были привилегией только людей – например, формирование критериев и цели управления, контроль за эффективностью управления, выработка рекомендаций. И опять необходим семантический указатель. Так какая же наука должна изучать интеллектуальные системы? Более всего подходит информатика, что подчёркивает первостепенную роль **семантической информации**. Сегодня к информатике относят самые разнообразные вопросы автоматизации обработки информации, вопросы алгоритмизации и программирования, и др. Методы вычислительной математики, численных методов анализа, вопросы построения математических моделей, решение всевозможных прямых и обратных задач сегодня относятся к информатике. Общим здесь является тесная связь с проблемами построения интеллектуальных систем. Таким образом, информатику можно назвать наукой об интеллектуальных системах.

Если провести параллель информатики с кибернетикой, то можно провести следующую аналогию: у человека различаются первая и вторая сигнальные системы, причём с первой связаны рефлекторные реакции (рефлексы), а со второй – мышление, речь, язык, понятия, высказывания – т.е. семантическая информация. Можно сказать, что кибернетика имеет дело с системами типа первой сигнальной системы человека, а информатика – с системами типа второй сигнальной системы человека.

Ещё Платон сформулировал основные методологические принципы, которые сегодня лежат в основе математической информатики: *информационный принцип, принцип системности, принцип отражения и структурный принцип*.

**Информационный принцип.** Объектом является всё то, о чём возможно получить информацию, то, что является элементом некоторого множества объектов.

**Принцип системности.** Объект, представляющий собой совокупность взаимосвязанных элементов (объектов более низкого уровня), является системой. Всякая система обладает свойством структурности, определяемой только взаимосвязями между элементами системы, и сохраняющейся, с некоторой ненулевой вероятностью, при замене элементов системы на их заменители. Всякий объект является элементом одновременно для многих систем. Эти вопросы изучает теория сложных систем.

**Принцип отражения.** Всякий объект обладает различными свойствами, проявляющимися в рамках соответствующих систем, где этот объект является элементом. Для всякого объекта возможна интеллектуальная система, в которой происходит сбор, хранение, преобразование, использование и передача информации об этом объекте. Всякий объект имеет первичный и самостоятельный характер по отношению к своей интеллектуальной системе, а информация об объекте имеет вторичный характер и является *отражением* различных свойств объекта. Всякая интеллектуальная система имеет относительную самостоятельность, которая заключается в возможности её самостоятельного (без объекта) функционирования на основе заранее полученной информации об объекте.

**Структурный принцип.** Структура всякой интеллектуальной системы представляет собой сеть ультрасистем (преобразователей информации), связанных между собой через накопители информации. Эта сеть повторяет, в главном, сеть взаимосвязей между объектами в предметной области интеллектуальной системы, т.е. структуру предметной области. Связь интеллектуальной системы со своей предметной областью осуществляется через терминальные элементы – датчики и исполнители.

Таким образом, выделен предмет **математической информатики**, новой науки, появляющейся на стыке двух наук, – интеллектуальные системы.

### 3.4 Химическая информатика

**Химическая информатика (хемоинформатика**, от англ. **chemistry, химия**) – представляет собой совокупность методов информатики и компьютерных технологий для решения проблем современной химии. *Сферы приложения*: прогноз физико-химических свойств молекул (в частности, липофильности, или водорастворимости), свойств материалов, токсикологическая и биологическая активность, эколого-токсикологические свойства, разработка новых лекарственных препаратов.

Термин **хемоинформатика** был введен в употребление Ф. К. Брауном в 1998 г. Он означает совместное использование информационных ресурсов для преобразования данных в информацию и информации в знания для быстреего принятия наилучших решений при поиске соединений – лидеров в разработке лекарств и их оптимизации.

*Хемоинформатика – это научная дисциплина, охватывающая вопросы дизайна, создания, организации, управления, поиска, анализа, распространения, визуализации и использования химической информации.*

Согласно определению, данному А. Варнеком и И. Баскиным: хемоинформатика — это часть теоретической химии, базирующаяся на своей собственной молекулярной модели; в отличие от квантовой химии, в которой молекулы представлены как ансамбли электронов и ядер, и основанного на силовых полях молекулярного моделирования, имеющего дело с классическими «атомами» и «связями», хемоинформатика рассматривает молекулы как объекты в химическом пространстве.

Наиболее полное и развернутое определение хемоинформатики как научной дисциплины содержится в Декларации Обернэ: *хемоинформатика – это научная дисциплина, возникшая за последние 50 лет в пограничной области между химией, вычислительной математикой и информатикой.* Было осознано, что во многих областях химии огромный объем информации, накопленный в ходе химических исследований, может быть обработан и проанализирован только с помощью компьютеров. Более того, многие из проблем в химии настолько сложны, что для их решения требуются новые подходы, основанные на применении методов информатики. Исходя из этого, были разработаны методы для построения баз данных по химическим соединениям и реакциям, для прогнозирования физических, химических и биологических свойств соединений и материалов, для поиска новых лекарственных препаратов, анализа спектральной информации, для предсказания хода химических реакций и планирования органического синтеза.

**Хемоинформатика**, наряду с квантовой химией и молекулярным моделированием, является ветвью *теоретической химии* и областью вычислительной химии.

Хемоинформатика тесно связана с **биоинформатикой**, и между ними нет четкой границы. Биоинформатику можно считать частным случаем хемоинформатики для биологических макромолекул, а хемоинформатику — распространением биоинформатики на небиологические молекулы. Есть ряд областей, например, **хемогеномика**, которые в равной степени относятся и к биоинформатике, и хемоинформатике.

На пересечении хемоинформатики и фармакологии стоит медицинская химия, т.е. фармацевтическая химия. На пересечении хемоинформатики и аналитической химии находится **хеометрика**. Математическими основами хемоинформатики, связанными с представлением химических соединений в графическом виде (с помощью молекулярных графов), занимается **математическая химия**.

**Основные направления.** Хемоинформатика находится на пересечении химии и информатики. В основе хемоинформатики лежит представление о химическом пространстве — совокупности всех доступных химических объектов (химических соединений, реакций, смесей, растворов, каталитических систем, материалов и др.). Отличительной особенностью хемоинформатики является то, что в ее рамках прогнозирование свойств химических объектов осуществляется путем переноса (интерполяции) известных значений свойств от сходных химических объектов. В большинстве случаев химические объекты представимы в виде молекулярных графов, и поэтому методы теории графов находят широкое применение в хемоинформатике. Традиционный подход к обработке химической информации, однако, состоит в отображении химического пространства на дескрипторное пространство, образуемое вычисляемыми для каждого химического объекта векторами молекулярных дескрипторов — числовых характеристик, описывающих химические объекты (в особенности, молекулярные графы). Это дает возможность применять методы математической статистики и машинного обучения (в том числе, интеллектуального анализа данных) для работы с химическими объектами.

**Внутреннее и внешнее представление химической информации.** В хемоинформатике для внутреннего представления структур химических соединений обычно используются молекулярные графы, которые могут быть при необходимости дополнены информацией о трехмерных координатах атомов, а также о динамике их изменения во времени. Долговременное хранение химической информации и обмен ею между приложениями осуществляется при помощи файлов, организованных в соответствии с типами внешнего представления химической информации.

Простейшим типом внешнего представления структур химических соединений являются линейные нотации в виде строки символов. Исторически первым видом линейных нотаций явилась *линейная нотация Висвессера*. В настоящее время наиболее распространённым видом линейных нотаций являются строки SMILES.

Второй тип внешнего представления структур химических соединений и реакций между ними основан на непосредственном кодировании матрицы смежности молекулярного графа. Такие форматы как MOL, SDF и RDF, которые в настоящее время являются стандартными для обмена химической информацией, можно считать способами представления в виде текстового файла матрицы смежности молекулярного графа. Этой же целью служат и специфические форматы MOL2, HIN, PCM и др., предназначенные для работы с программами по молекулярному моделированию.

Наконец, третий тип внешнего представления структур химических соединений основан на технологии XML. Наиболее распространённым языком описания химической информации, опирающимся на эти принципы, является CML.

**Прогнозирование свойств химических соединений и материалов.** Прогнозирование свойств химических соединений в хемоинформатике основано на применении методов математической статистики и машинного обучения для построения моделей, позволяющих по описанию структур химических соединений предсказывать их свойства (физические, химические, биологическую активность). За моделями, позволяющими прогнозировать количественные характеристики биологической активности, исторически закрепилось англоязычное название QSAR. Аббревиатура QSAR часто трактуется расширенно для обозначения моделей структура – свойство.

**Фармакофоры и фармакофорный поиск.** *Фармакофор* – это набор пространственных и электронных признаков, необходимых для обеспечения оптимальных супрамолекулярных взаимодействий со специфической биологической мишенью, которые могут вызывать или блокировать её биологический ответ. При фармакофорном поиске проводится поиск соответствия между описанием фармакофора и характеристиками молекул из базы данных, находящихся в допустимых конформациях.

**Молекулярное подобие и поиск по молекулярному подобию.** *Молекулярное* (химическое) подобие – это близость, сходство, подобие структур химических соединений. В качестве количественной меры молекулярного подобию рассматривается величина, возрастающая с уменьшением расстояния между химическими соединениями в дескрипторном пространстве. Поиск по химическому подобию основан на предположении, что подобные соединения обладают подобной биологической активностью.

**Виртуальный скрининг** – это вычислительная процедура, которая включает автоматизированный просмотр базы данных химических соединений и отбор тех из них, для которых прогнозируется наличие желаемых свойств. Чаще всего он применяется при разработке новых лекарственных препаратов для поиска химических соединений, обладающих нужным видом биологической активности.

**Компьютерный синтез** – область хемоинформатики, охватывающая методы, алгоритмы и реализующие их компьютерные программы, оказывающие помощь химикам в планировании синтеза органических соединений, прогнозировании результатов и дизайне новых типов органических реакций на основе обобщения данных по известным синтетическим превращениям.

**Визуализация и исследование химического пространства.** Одной из центральных задач хемоинформатики является визуализация и составление карт химического пространства, навигация в нём и выявление неисследованных зон. Анализ химического пространства основан либо на представлении химических объектов (структур и реакций) в виде векторов дескрипторов фиксированного размера, либо на описании химических объектов при помощи молекулярных графов. Для представления химического пространства используются деревья молекулярных остовов.

**Молекулярный дизайн химических соединений с заданными свойствами.** Одной из важнейших задач хемоинформатики является молекулярный дизайн химических соединений с заданными свойствами. Под этим понимается направленная генерация структур химических соединений (молекулярных графов), которые, в соответствии с моделями, должны обладать набором заранее заданных свойств.

При использовании для этой цели химических моделей QSAR и QSPR, полученных в результате поиска количественных соотношений вида *структура–свойство*, учёные говорят об «обратном синтезе QSAR» или «обратном синтезе QSPR», либо о решении обратной задачи в проблеме *структуры – свойств вещества*.

Эти подходы основаны на использовании генераторов молекулярных графов. При использовании физической модели, описывающей взаимодействие *лиганд – белок*, говорят о методах дизайна химических структур *de novo*.

### 3.5 Физическая информатика

Еще в 1968 г. акад. А.Д. Урсул предсказал, что «методами теории информации будут изучаться свойства пространства и времени, чем до сих пор занимались физические теории – например, теории относительности». Физика и теория информации взаимно проникают друг в друга, что приводит к созданию двух синтетических дисциплин – прикладной теории информации и информационной физики».

Взаимопроникновение физики и теории информации в ходе развития информатики сформировало синтетическую дисциплину – **физическую информатику**.

Многие выдающиеся ученые – физики отмечали важность информации. Так, Дж. Уиллер писал: «Моя жизнь в физике представляется мне разделенной на три периода. В первый из них я был захвачен идеей, что «всё – это частицы». Я искал способы выстроить все базовые элементы материи: нейтроны, протоны, мезоны и т. д. из самых легких, наиболее фундаментальных частиц — электронов и фотонов. Вторым периодом я называю «всё – это поля». Теперь же я захвачен новой идеей: «всё – это информация». Э. Стин отмечал: «...необходимо определить законы, схожие с законами сохранения энергии и момента, но используемые по отношению к информации и определяющие большую часть квантовой механики». Б.Б. Кадомцев считал: «при переходе к изучению все более сложных систем именно структурные, информационные аспекты их поведения и развития выступают на первый план, а динамика создает лишь основу для информационного развития. С учетом квантовых процессов в микромире картина развития мира становится еще более сложной и более богатой в смысле ее информационного поведения».

Впервые анализ физических процессов с использованием понятий информатики провел А. Эйнштейн. С тех пор информационные понятия и термины всё глубже проникают в физику. Дж. фон Нейман ввел понятие **квантовой энтропии**. Энтропия чистого состояния по определению равна нулю, но физики, для описания и исследований квантовых систем, используют энтропию. К. Шеннон ввел понятие «**информационная энтропия**», которое определяется в битах и является универсальной мерой неопределенности (информации) в классических и квантовых системах.

Систематическое применение методов теории информации к анализу физических явлений и процессов было впервые проведено Л. Бриллюэном. «Мы введем теперь различие между двумя видами информации: 1) *свободная информация*, возникающая, когда возможные случаи рассматриваются как абстрактные и не имеющие определенного физического значения; 2) *связанная информация*, возникающая, когда возможные случаи могут быть представлены как микросостояния физической системы». Л. Бриллюэн в 1959 г. показал, что одна двоичная единица информации соответствует энергии, равной постоянной Больцмана, умноженной на температуру, и дал оценку объема информации, содержащейся в физическом законе.

Р. Пенроуз и С. Хокинг использовали *информационный подход в астрофизике, применительно к процессу образования черных дыр*. «Может ли во Вселенной исчезать информация при образовании черной дыры? Куда она может исчезать? Черная дыра искажает проглоченную информацию, но всё же не разрушает ее бесследно. В процессе испарения черной дыры информация вырывается из ее объятий».

А. Зайлингер выдвинул основные принципы, как возможный фундамент всей квантовой теории: 1) элементарная система представляет истинностное значение одного суждения; 2) элементарная система несет один бит информации.

С. Ллойд выдвинул постулаты: 1) теорема Марголиса–Левитина; 2) общее количество битов, доступных для обработки в системе, ограничено только энтропией системы; 3) скорость перемещения информации во Вселенной ограничена скоростью света. Эти три предела применены для оценки способности Вселенной к обработке информации. Оценено и общее количество битов, доступных во Вселенной для вычисления, и число элементарных логических действий, которые могут быть выполнены на этих битах за всё время существования Вселенной. Считается, что около 300 бит информации могут быть закодированы в космическом микроволновом фоне.

И.М. Гуревич систематизирует знания по сложным системам, информационным методам их исследований на базе законов информатики и проводит исследования сложных систем на основе этих законов. Основными результатами автора являются:

- утверждение о существовании законов природы, более общих, чем физические, – законов информатики, определяющих и ограничивающих физические явления и процессы, и предшествующих по времени появлению физических законов;
- формулировка общих законов информатики;
- оценка информационных характеристик физических систем;
- оценка объема информации во Вселенной.

Количество известных ученых, использующих информационный подход и информационные методы в физических исследованиях, быстро возрастает.

**Определение информации с точки зрения физики.** Наряду с материей и энергией Вселенная содержит информацию. основополагающий принцип квантовой механики Зайлингера постулирует, что всякая элементарная физическая система несет в себе 1 бит информации, под которой понимается *устойчивая (в течение определенного времени) неоднородность произвольной физической природы*. Тем самым, буква в книге, атом, молекула, элементарная частица, звезда, чертёж, рисунок, вспаханное поле, лес и другие неоднородности содержат и несут информацию. Классы неоднородностей могут иметь различную природу: математическую, физическую, химическую, биологическую, геологическую, техническую, социальную, экономическую, и др.

Универсальной мерой физической неоднородности является **информационная энтропия** по определению Шеннона (энтропия по определению Неймана не может использоваться в качестве меры неоднородности, поскольку она равна нулю для имеющего структуру чистого состояния). Это приводит к необходимости использования информационных методов исследования как самой информации, так и связанных с ней материи и энергии. *Использование информационного подхода позволяет получить новые, порой более общие результаты, по сравнению со сведениями, получаемыми на только основе физических законов.* Акад. А.Д. Урсул еще в 1968 г. в книге «Природа информации. Философский очерк» [1] дал близкое определение информации: «...во-первых, информация связана с разнообразием, различием, во-вторых, с отражением. В соответствии с этим ее можно определить в самом общем случае как **отраженное разнообразие**. *Информация – это разнообразие, которое один объект содержит о другом объекте (в процессе их взаимодействия)...но информация может рассматриваться и как разнообразие, которое является ... результатом отражения объектом самого себя, т.е. самоотражения.*

Информация выражает свойство материи, которое является всеобщим, и понятие информации отражает как объективно – реальное, не зависящее от субъекта свойство объектов неживой и живой природы, общества, так и свойства познания, мышления. Информация, таким образом, присуща как материальному миру, так и идеальному. Она применима и к характеристике материи, и к характеристике сознания. Если объективная информация может считаться свойством материи, то идеальная, субъективная информация есть отражение объективной, материальной информации».

В.М. Глушков в ряде работ характеризует *информацию как меру неоднородности в распределении энергии (или вещества) в пространстве и во времени...Информация существует постольку, поскольку существуют материальные тела и, следовательно, созданные им неоднородности*». Интересно, что в своей книге А.Д. Урсул отметил, что «Неоднородность – это иное выражение видов разнообразия».

Уточним теперь определение информации и информатики:

**Информация** – это устойчивое в течение определенного времени разнообразие (неоднородность) произвольной физической природы (неживой и живой материи, общества, разума), описываемая и изучаемая всеми прикладными науками, обладающая множеством свойств, прежде всего отражением и самоотражением.

**Информатика** – это наука об информации.

**Предметная область информатики:** естественные системы (живые и неживые), системы, созданные цивилизацией, включая социальные и экономические.

**Методы исследования:** оценка информационных характеристик систем, оценка прочих характеристик систем, взаимосвязанных с информационными характеристиками данных систем (по информационным характеристикам), изучение информационных закономерностей (в конкретных предметных областях и общих). Нет ни одного определения информатики, которое не было бы частным случаем этого определения, которое не может затронуть или ограничить ничьи научные интересы, не может отменить или запретить ни одно из известных или будущих направлений исследований.

**Физическая информатика и её основные характеристики.** Взаимосвязь между физическими и информационными характеристиками систем – массой, энергией, энтропией и информацией дает возможность использовать информационные оценки и методы исследования физических характеристик систем. **Физическая информатика** это наука, изучающая физические системы информационными методами. Эта научная дисциплина создана, в основном, в трудах И.М. Гуревича. Показано, что информационные законы совместно с физическими законами могут служить эффективным инструментом познания физических систем и Вселенной в целом. **Законы информатики** имеют всеобщий, универсальный характер, действуют во всех возможных Вселенных. Основными **информационными характеристиками** неоднородностей физических систем являются: неопределенность (информационная энтропия) и информационная дивергенция наблюдаемых состояний, характеризующая объем информации – информационную емкость неоднородности; совместная информационная энтропия, характеризующая унитарные преобразования; информация связи, характеризующая взаимодействие физических систем; дифференциальная информационная емкость материи. **Наблюдаемой** в квантовой механике называют любую физическую величину, которую можно измерить, причем результатами эксперимента обязательно должны являться действительные числа. Состояние физической системы определяется вектором в гильбертовом пространстве.

Среди **результатов физической информатики** следует особенно отметить разработку *методики оценки объема неопределенности информации в физических объектах иерархической структуры*. Сначала оценивается объем неопределенности информации в объектах нижнего, первого, уровня (лептонах и кварках). Согласно основному принципу квантовой механики Зайлингера, считаем, что в объектах нижнего уровня – фундаментальных частицах содержится 1 бит неопределенности информации. Далее оценивается объем неопределенности информации в объектах второго уровня. Он равен сумме неопределенности информации объектов нижнего уровня плюс объем неопределенности информации, заключенной в структуре объекта второго уровня иерархии (мезоны, барионы). Объем информации в структуре объекта второго уровня оценивается по волновой функции объекта второго уровня и по графу, отображающему структуру объекта второго уровня. Далее аналогично оценивается объем неопределенности информации в объектах следующих уровней. По такой методике получены оценки объема информации в физических системах, фундаментальных и элементарных частицах – молекулах, атомах и др.

К фундаментальным результатам также относится следующее: определен вид гравитационного потенциала и вид напряженности гравитационного поля. Показана необратимость времени. Доказано, что законы информатики определяют действие физических законов сохранения – энергии, импульса, момента импульса. Открыто существование нескольких типов материи с разной зависимостью объема информации от массы (линейная для обычного вещества, квадратичная для черных дыр, линейно-логарифмическая для нейтронных дыр и белых карликов). Разработаны информационные модели космологических объектов (черных дыр, нейтронных звезд, белых карликов, звезд солнечного типа). Выведена формула *С. Хокинга* для черных дыр (информационный спектр излучения). Выведена формула информационного спектра излучения Вселенной для нейтронных звезд и белых карликов, что произвело **революцию в астрофизике**. Разработана методика и даны оценки объема информации в звездах типа Солнце, в нейтронных звездах, белых карликах, черных дырах и др. космологических объектах. Получены информационные ограничения на образование и слияние черных дыр. Открыто существование и исследованы характеристики оптимальных черных дыр, что минимизирует объем информации в области Вселенной и во всей Вселенной в целом. Дана оценка массы начальных неоднородностей Вселенной.

Показано, что **расширение Вселенной (инфляционное и степенное)** является *причиной и источником формирования информации, причем обеспечивают этот процесс разнообразные физические процессы в расширяющейся Вселенной*. Создают информацию фазовые преобразования и кривизна пространства. В частности, объем информации формируется в системе её отсчёта, движущейся с ускорением. Даны оценки максимально и минимально возможного текущего объемов информации во Вселенной, оценки основных информационных характеристик Вселенной.

Показано, что к **четырем известным типам взаимодействия во Вселенной (гравитационному, электромагнитному, сильному и слабому)** следует добавить еще один тип взаимодействия – **информационный**.

Оценки совместной энтропии, полученные различными исследователями по различным независимым экспериментальным данным, характеризуют матрицы смешивания электрослабого взаимодействия. Они близки к оценкам совместной энтропии матриц смешивания кварков. Это свидетельствует о единой информационной и физической природе всех видов взаимодействий, в том числе сильных и слабых.

Показано, что физические системы представимы в виде прямой суммы прямых произведений  $q$ -битов, и для формирования фундаментальных частиц необходимо не менее  $6 q$ -битов. Получены фундаментальные ограничения на емкость памяти и производительность информационных систем. Оценки объема информации в атомах, азотистых основаниях, аминокислотах, дифференциальная информационная емкость обычного вещества определяют фундаментальные ограничения на информационную емкость устройств, предназначенных для хранения данных. Структура и разность энергий базисных состояний атома водорода, рассматриваемого как  $q$ -бит, накладывают фундаментальные ограничения на быстродействие вычислительных устройств. Данные ограничения на емкость памяти и производительность информационных систем можно добавить в ряд фундаментальных природных ограничений, включающих скорость света, элементарный заряд, планковское время, и др.

Из информационных предпосылок определена необходимость описания физических систем (квантовой механики) неклассической вероятностной логикой. Показано, что во всех возможных Вселенных действуют законы информатики и тем самым физические законы сохранения. Исходя из принципа максимальной энтропии, определена необходимость вероятностного описания физических систем квантовой механики. Из информационных предпосылок определены: закон всемирного тяготения, второй закон Ньютона, уравнения Фридмана, показана необратимость времени и др.

Работы И.М. Гуревича, многих отечественных и зарубежных ученых подтверждают первичность информационных законов по отношению к физическим законам. Следовательно, *законы информатики определяют и ограничивают законы физики.*

**Актуальные задачи физической информатики.** К таким задачам относятся:

- разработка информационных методов исследования физических систем;
- развитие, уточнение законов информатики применительно к законам физики;
- оценка информационных характеристик (энтропии, дивергенции, совместной информационной энтропии, информации связи, дифференциальной информационной емкости) и объема информации в физических, химических, биологических, экологических, социальных и др. системах различной природы;
- вывод из законов информатики различных физических законов;
- совместное использование законов сохранения энергии и сохранения неопределенности информации для расчетов характеристик физических систем и процессов;
- изучение информационного взаимодействия физических систем;
- формирование информационных ограничений на образование, развитие, взаимопревращение физических, химических, биологических и др. систем;
- изучение информационных характеристик квантовых компьютеров и вычислений;
- фундаментальные ограничения на характеристики информационных систем;
- оценка объема информации, определяющего возникновение и развитие Вселенной, а также уточнение массы неоднородности, содержащей эту информацию;
- исследование расширения Вселенной, как причины и источника формирования информации во Вселенной, порождающей законы физики;
- формирование ограничений на познаваемость и управление развитием Вселенной;
- изучение способов формирования во Вселенной информации различной природы;
- анализ информационных характеристик внеземных цивилизаций;
- компактное представление и сохранение накопленных цивилизацией знаний;
- информационные основы теории квантовой гравитации и «теории всего».

## Глава 4. Новые поколения компьютерной техники

Бурное развитие современной микро- и наноэлектроники происходит, в основном, за счёт постоянного уменьшения размеров элементов микросхем и увеличения плотности их размещения на кристалле. Это позволяет повышать скорость переработки информации. Однако неуклонное возрастание сложности и быстродействия интегральных схем на основе кремния не может продолжаться до бесконечности. На этом пути встаёт барьер, обусловленный фундаментальными законами физики.

В 1965 г., на заре компьютерной эры, директор отдела исследовательской компании *Fairchild Semiconductors* **Гордон Мур** предсказал, что количество транзисторов на одной микросхеме будет ежегодно удваиваться. Прошло почти полвека, но **закон Мура** по-прежнему актуален и работает. Со временем практика микроэлектронного производства внесла в него поправку: сегодня считается, что удвоение числа транзисторов происходит каждые 18 месяцев. Такое замедление роста вызвано усложнением архитектуры компьютерной аппаратуры. Однако для кремниевой технологии производства компьютерных микро- и наносхем, закон Мура не может выполняться вечно.

Первое, наиболее очевидное ограничение на закон Мура связано с неконтролируемым ростом стоимости производства все более сложных устройств. За последние 30 лет оборудование для выпуска микросхем подорожало примерно в 1000 раз. Если так пойдет и дальше, то еще через десять лет для выполнения закона Мура придется тратить десятки миллиардов долларов на строительство фабрики по изготовлению микросхем. При этом рост затрат будет превышать рост доходов. Уже сегодня корпорация Intel вкладывает в свои производства миллиарды долларов ежегодно. Ничего не поделаешь: технологический прогресс ограничивается финансовыми реалиями.

Но есть и другое, принципиальное ограничение на закон Мура. Возрастание плотности размещения элементов на микросхеме достигается за счет уменьшения их размеров. Уже сегодня расстояние между элементами процессора может составлять  $0,13 \cdot 10^{-6}$  м (так называемая 0,13 – микронная технология). Когда размеры транзисторов и расстояния между ними достигнут нескольких десятков нанометров (1 нм равен  $10^{-9}$  м), вступят в силу так называемые размерные эффекты – физические явления, полностью нарушающие работу традиционных кремниевых устройств. С уменьшением толщины диэлектрика в полевых транзисторах растет вероятность прохождения электронов через него, что также препятствует нормальной работе приборов.

Многие специалисты связывают будущее кремниевой электроники с переходом к трёхмерной архитектуре микросхем, позволяющей при тех же размерах элементов разместить гораздо большее их число в одном кристалле кремния (в применяемой сейчас планарной технологии все элементы микросхемы располагаются в одной плоскости на поверхности кристалла). Однако переход на трехмерную технологию не может принципиально решить упомянутую выше проблему размерных эффектов.

Еще один путь повышения производительности – применение вместо кремния и германия других полупроводников, например *арсенида галлия* (GaAs) и других. За счет более высокой подвижности электронов в этом материале можно увеличить быстродействие устройств еще на порядок. Однако технологии на основе арсенида галлия намного сложнее кремниевых технологий, а, следовательно, их стоимость на порядки выше, что неприемлемо как массового производства, так и для пользователя.

Поэтому, хотя за последние два десятка лет в исследование GaAs вложены немалые средства, интегральные схемы на его основе используются в основном в военной области, где их высокая стоимость компенсируется низким энергопотреблением, высоким быстродействием и радиационной устойчивостью. Однако и для устройств на GaAs остаются в силе ограничения, обусловленные как фундаментальными физическими принципами, так и технологией изготовления.

Можно с определенной уверенностью сказать, что современная технология создания вычислительных систем (компьютеров и др.) изживает себя. Микропроцессоры последних поколений содержат огромное число транзисторов (10 млн. и более). Можно уменьшать физические размеры транзисторов и интегральных схем, применяя *нанотехнологии* (создание электронных и других элементов с использованием специальной техники для получения наноразмеров), но всему есть предел. Это лишь малая часть огромной проблемы, уже вставшей перед специалистами в сфере компьютерных технологий, **проблемы приближения к пределу быстродействия**. За последнее время вся числовая, текстовая, графическая, звуковая, видео и другая информация была перенесена на компьютерные носители. Совсем недавно база данных с информацией в 1000 записей быстро справлялась с поиском, однако теперь, когда в базах данных находятся сотни миллионов записей, это стало требовать гораздо большего времени, и новые алгоритмы поиска не намного уменьшат время поиска.

Стало очевидно, что необходимы компьютеры новых поколений с более высокими скоростными характеристиками. Поэтому специалисты всего мира взялись за решение этой проблемы путем **создания вычислительной системы будущего**.

Существует много вариантов ее решения: ведутся экспериментальные разработки **молекулярных, нано-, нейронных, квантовых, оптических, вероятностных, биологических, генетических ДНК-компьютеров**, и др. Сегодня специалисты из разных областей науки и техники ищут альтернативные пути дальнейшего развития электроники, уже с приставкой не микро-, а нано. Создание новых вычислительных систем, с большей производительностью и искусственным интеллектом (возможностью самообучения и самовосстановления) очень актуально.

## 4.1 Молекулярный компьютер

Один из путей решения проблемы предлагает **молекулярная электроника**, или **молетроника**. Стало возможным построить транзистор, состоящий всего из одной молекулы. Если из миллиарда таких транзисторов построить процессор, то по размерам он будет не больше острия иглы или песчинки. Но его производительность возрастет в сотни или даже тысячи раз по сравнению с современными компьютерами, а энергопотребление станет намного меньше. Такие молекулярные процессоры можно встраивать в самые крошечные устройства, внедрять их в волокна ткани, превращая одежду в надеваемый компьютер. «Молекулярные блоки памяти» обеспечат плотность хранения данных, немыслимую для полупроводниковых микросхем. По прогнозам биохимика Дж. Мак Алира, одного из пионеров молекулярной электроники, плотность размещения молекулярных элементов в объемной 3-Днаносхеме может составить  $10^{12} \dots 10^{15}$  элементов на  $\text{мм}^{-3}$ . Это в  $10^6$  раз выше, чем в нервных волокнах живых организмов. Скорость передачи информации может возрасти в  $10^6$  раз.

Сейчас такой прогноз кажется фантастическим. Однако многие специалисты предсказывают появление молекулярных микросхем уже через несколько лет, а начало промышленного производства молекулярных компьютеров в 2015–2020 гг. Крупнейшие компании всего мира вкладывают огромные средства в развитие этой области. Так, Агентство перспективных оборонных исследований США (DARPA) развернуло грандиозную программу по созданию элементной базы молекулярного компьютера, в которую включились такие промышленные гиганты, как Hewlett Packard и др.

Впервые идея использовать органические молекулы в качестве элементной базы возникла ещё в 1974 г., в фирме IBM, когда её ведущие исследователи А. Авирам и М. Ратнер предложили модель выпрямителя (диода), состоящего из одной органической молекулы. Две половинки этой молекулы обладают противоположными свойствами по отношению к электрону: одна может только отдавать электрон (являясь донором), а другая – только принимать (являясь акцептором). Если поместить такую асимметричную молекулу между двумя металлическими электродами, то вся система будет проводить ток только в одном направлении. Предложения о создании молекулярных систем с направленной электронной проводимостью инициировали экспериментальные работы по синтезу и изучению свойств таких молекул. Выдвигались также идеи создания на их основе аналога полупроводникового транзистора, за счет внедрения между донорной и акцепторной частями молекулы дополнительной управляющей молекулярной группировки (затвора), свойства которого могут быть изменены каким-либо воздействием (подачей напряжения, освещением и т.п.). Если соединить два таких транзистора, получится аналог полупроводникового триггера (вентили) – устройства, которое может переключаться между двумя устойчивыми состояниями, выполняющими роль логических 0 и 1. А это, по сути, базовый элемент любого компьютера, работающего по принципу бинарной (двоичной) логики.

Следующим шагом в развитии молекулярной схемотехники стал отказ от простого копирования полупроводниковых схем с заменой в них обычных полупроводниковых (кремниевых) транзисторов на молекулярные. Существует множество как природных, так и синтезированных человеком молекул, которые сами по себе могут служить логическими элементами. Их разделяют на два типа: к первому относятся молекулы, обладающие двумя устойчивыми состояниями, которым можно приписать значения 0 и 1. Научившись переключать их из одного состояния в другое, фактически можно управлять молекулярным элементом двоичной логики. Молекулы второго типа содержат фрагменты, способные выполнять функции управляющих элементов. Одна такая молекула может работать как логический элемент НЕ–И, НЕ–ИЛИ и т.д.

На основе уникальных свойств органических молекул уже разработано множество вариантов схем для молекулярного компьютера. Сегодня в мире существуют научно-технические центры, занимающиеся разработкой устройств молекулярной электроники. Ежегодные конференции собирают сотни специалистов в этой области.

## 4.2 Нанотехнологии и нанокomпьютеры

О возможности создания нанотехнологий ещё в 50–е годы XX века заявил Ричард Фейнманн, решая задачу компактного хранения увеличивающегося объёма данных. Нанотехнологии способны радикально изменить весь мир, изменив как инструменты обработки информации – компьютеры, так и методы их использования.

Различить отдельный конкретный атом с помощью какого-либо оптического прибора в принципе невозможно, так как оптические приборы работают со световыми колебаниями. Их разрешающей способностью является расстояние между двумя объектами, на котором объекты ещё отличимы друг от друга (т.е. расстояние не превышает длины волны световых колебаний). Длина волны видимого света составляет около 500 нм, что в тысячи раз превышает расстояние между атомами.

С точки зрения современной физики, электрон является не только частицей, но и волной, колебанием. Длина этой волны меньше расстояния между двумя атомами, поэтому можно увидеть отдельный атом (отличить его от других атомов) посредством электронных волн в микроскоп с «электронным светом». В 80-х гг. создали такой микроскоп, названный **сканирующим туннельным микроскопом (СТМ)**. Основная идея СТМ состоит в том, чтобы в вакууме перемещать над поверхностью твёрдого тела кончик острой иглы, к которой приложено напряжение. Если расстояние между образцом и кончиком иглы достаточно мало, то электроны туннелируют (перескакивают) с острия иглы на образец, образуя ток туннелирования. Водя иглой по образцу и измеряя ток, исследователи получают возможность *нанести на карту* расположение микроскопических (атомных размеров) *холмов* и *долин* на поверхности образца. В 1986 г. изобретатели СТМ были удостоены Нобелевской премии. Сканирующий туннельный микроскоп, уместающийся на ладони, имеет разрешение по вертикали детали размером в одну десятую диаметра атома водорода. Разрешающая способность сканирующего острия шириной всего в несколько атомов допускает разрешение детали горизонтальной плоскости размером не более 0,2 нм. Уже удалось изготовить острие шириной в один атом. Наконечник иглы выполнен в форме пирамиды, предпоследний и последний слои которой состоят из трёх и одного атомов соответственно. СТМ позволяет не только видеть, но и перемещать атомы.

Например, в 1980 г. сотрудники фирмы IBM нанесли на никелевую подложку 35 атомов ксенона, выложив из них название своей компании. Манипулируя отдельными атомами и молекулами, принципиально возможно создавать новые устройства разных размеров: от микроскопических, неразличимых для невооружённого глаза, до устройств планетарного масштаба, по величине превосходящих Землю.

Любое устройство содержит огромное количество атомов. Чтобы изготовить его с помощью нанотехнологий, каждый атом нужно переместить на отведённое ему место. Уже найдены интереснейшие способы применения нанотехнологий, и их количество увеличивается с каждым днём. Нанотехнологии немыслимы без компьютеров, коммуникаций и программирования. Роботы-сборщики будут получать и обрабатывать информацию извне, а также обмениваться информацией друг с другом, ретранслируя её и образуя коммуникационные сети. Микророботов и программы для них придётся создавать сначала на обычных компьютерах, а затем на нанокomпьютерах, которые будут состоять из мельчайших деталей, образованных всего несколькими тысячами атомов. Прогнозы не так уж фантастичны.

Практическое применение нанотехнологий уже происходит. Бизнесмены и государственные деятели вкладывают огромные суммы денег в инвестиции, направляемые на развитие нанотехнологий. Промышленное применение нанотехнологий уже происходит, а спустя еще десятилетие нанотехнологии будут образовывать заметный сектор в мировой экономике и в российской экономике в частности.

### 4.3 Нейронные компьютеры (нейрокомпьютеры)

Для решения некоторых задач требуется создание эффективной системы искусственного интеллекта, которая могла бы обрабатывать информацию, не затрачивая много вычислительных ресурсов. Мозг и нервная система живых организмов позволяют решать задачи управления и эффективно обрабатывать сенсорную информацию, а это огромное преимущество для создаваемых вычислительных систем. Именно это послужило предпосылкой создания искусственных вычислительных систем на базе **нейронных систем живого мира**. Специалисты, добившись нужных результатов в этой области, смогут создать компьютер с огромными возможностями. Создание компьютера на основе нейронных систем живого мира базируется на теории перцептронов, разработчиком которой был Фрэнк Розенблатт, предложивший понятие **перцептрона искусственной нейронной сети**, способного распознавать образы.

Пусть имеется некоторая зенитно–ракетная установка, задача которой – распознать цель и определить наиболее опасную из них. Также имеется два самолета вероятного противника: штурмовик и бомбардировщик. Зенитно–ракетная установка, используя оптические средства, фотографирует самолеты и отправляет полученные снимки на вход нейронной сети (при полностью сфотографированном самолете нейронная сеть быстро распознает его). Но если снимок получился плохо, то именно здесь используются основные свойства нейронной сети, одно из которых – возможность самообучения. Например, на снимке отсутствует одно крыло и хвостовая часть самолета. Через некоторое приемлемое время нейронная сеть сама дорисовывает отсутствующие части и определяет тип этого самолета и дальнейшие действия по отношению к нему. Из распознанных изображений штурмовика и бомбардировщика оператор данной зенитно–ракетной установки выберет для уничтожения более опасный самолет. Перспективность создания нейрокомпьютеров по теории Розенблатта состоит в том, что перцептронные структуры, имеющие свойства мозга и нервной системы, имеют ряд особенностей, помогающих при решении сложных задач. Это параллельность обработки информации, способность к обучению и к автоматической классификации, высокая надежность, ассоциативность.

**Нейронные компьютеры** – это совершенно новый тип вычислительной техники, иногда связываемый с *биокомпьютерами*. Нейрокомпьютеры можно строить на базе нейрочипов, которые функционально ориентированы на конкретный алгоритм, на решение конкретной задачи. Для решения задач разного типа требуется нейронная сеть разной топологии (*топология*– специальное расположение вершин, в данном случае нейрочипов, и пути их соединения). Возможна эмуляция нейрокомпьютеров (т. е. моделирование их функций), как с помощью компьютерных программ для ПК и суперЭВМ, так и с помощью программно–аппаратных средств, реализованных на цифровых сверхбольших интегральных схемах.

Информация в нейронной сети распределена в межнейронных связях. Исчезновение одной или нескольких связей не приводит к уничтожению всей информации в работающей системе, что делает возможным создание специальной военной распределенной сети, в которой уничтожение целых слоев не приведет к уничтожению всей сети. Таким образом, развитие технологии нейронных компьютеров приведет к созданию мощной вычислительной системы, решающей сложные задачи управления и обработки информации.

## 4.4 Квантовые компьютеры

В 1982 г. Ричард Фейнман поставил вопрос о реализации фантастических возможностей устройств, построенных на **квантовых элементах**. В чём же их преимущества? Дело в том, что квантовые устройства обладают рядом важных особенностей.

Для их оценки рассмотрим устройства, работающие в радиодиапазоне (длина волны больше 1 мм). В радиодиапазоне наибольший практический и научный интерес представляют квантовые устройства, называемые атомными и молекулярными генераторами. Их называют *мазеры* (от англ.: *Microwave amplification by stimulated emission of radiation* – усиление микроволн с помощью вынужденного излучения).

Основное достоинство атомных и молекулярных генераторов – чрезвычайно высокая стабильность частоты (периода) излучаемых ими электромагнитных волн. Это свойство используется для точного измерения частоты и времени, эталоны и стандарты которых, на основе таких генераторов, позволили создать атомные и молекулярные часы. Лучшие стандарты частоты с кварцевыми генераторами имеют стабильность в 100 раз ниже. За сутки кварцевые часы отстают или уходят вперед на 1 с, тогда как атомные часы изменили своё значение от номинала не более чем на 0,01 с.

На сегодняшний день существуют экспериментальные RISC-процессоры на RSFQ-логике (*Rapid Single Flux Quantum*). Эта же элементная база используется в проекте создания *петафлопного (1000 триллионов операций в секунду) компьютера*, использование которого значительно ускоряет поиск данных. Это показывает, что возможно создание не только высокоскоростных, но и безошибочных компьютеров.

В середине 1980-х гг. появились монографии, в которых были предложены возможные модели **квантового компьютера**. Следующим этапом, в 1994 г., была статья П. Шора, в которой он предложил один эффективный квантовый алгоритм для вычисления дискретного логарифма, что требует больших временных затрат. При определенных условиях, как, например, в нашем случае, вычисление дискретного логарифма за приемлемое время невозможно, что используется для построения безопасных и секретных систем с точки зрения шифрования информации. На квантовом компьютере алгоритм Шора позволяет это сделать за короткий промежуток времени. Российские специалисты тоже продвинулись в этом вопросе.

Независимо от Шора, Алексей Китаев из ИТФ им. Ландау предложил квантовые алгоритмы для решения задачи о дискретном логарифме и других сложных математических задач. Был также предложен алгоритм разложения большого целого числа на простые множители, что имеет не только научный, но и практический интерес: при создании квантового компьютера, он может быть использован для декодирования секретных сообщений, которые были зашифрованы алгоритмами, построенными на том, что разложить большое целое число на простые множители быстро не удастся. Для квантового компьютера давно разработано всё математическое обеспечение.

Основной строительной единицей квантового компьютера является **кубит** (*qubit, Quantum Bit*). Классический бит имеет лишь два состояния – 0 и 1, тогда как состояний кубита значительно больше. Для описаний состояний квантовой системы было введено понятие волновой функции, причём её значение представляется в виде вектора с большим числом значений. Существуют волновые функции, которые называются собственными для какой-либо определенной величины.

Квантовая система может находиться в некотором состоянии, с волновой функцией, равной линейной комбинации собственных функций, соответствующих каждому из возможных значений (такое состояние называется сложным), т.е. физически – ни в возбужденном, ни в основном состоянии. Это означает, что кубит в одну единицу времени равен и 0, и 1, тогда как классический бит в ту же единицу времени равен либо 0, либо 1. Как для классических, так и для квантовых компьютеров были введены элементарные логические операции: дизъюнкция, конъюнкция и квантовое отрицание, с помощью которых организована вся логика квантового компьютера.

Как работает квантовый компьютер? Согласно законам квантовой механики, энергия электрона, связанного в атоме, не произвольна. Она может иметь лишь определенный прерывистый (дискретный) ряд значений  $E_0, E_1 \dots E_n$  называемых уровнями энергии. Этот набор называют энергетическим спектром атома. Самый нижний уровень энергии  $E_0$ , при котором энергия атома наименьшая, называется основным. Остальные уровни ( $E_1, E_2 \dots E_n$ ) соответствуют более высокой энергии атома и называются возбужденными. Излучение и поглощение атомом электромагнитной энергии происходит отдельными порциями – **квантами**, или **фотонами**.

При поглощении фотона энергия увеличивается, он переходит **вверх** – с нижнего на верхний уровень, при излучении фотона атом совершает обратный переход **вниз**. Если атом в данный момент времени находится в одном из возбужденных состояний, например,  $E_2$ , то такое состояние атома неустойчиво, даже если на него не влияют другие частицы. Через очень короткое время атом перейдет в одно из состояний с меньшей энергией, например  $E_1$ . Такой самопроизвольный переход атома с одного уровня на другой, и сопровождающее его спонтанное излучение столь же случайны во времени, как радиоактивный распад ядра атома. Предсказать точно момент перехода принципиально невозможно. Можно лишь говорить о вероятности того, что переход произойдет через такое-то время. Но атом может перейти с уровня  $E_2$  на  $E_1$  не спонтанно, а под действием электромагнитной волны, если только частота этой волны достаточно близка к частоте перехода атома. Такая резонансная волна как бы **расшатывает** электрон и ускоряет его **падение** на уровень с меньшей энергией. Переходы, происходящие под действием внешнего электромагнитного поля, называются вынужденными (или стимулированными).

При создании квантового компьютера основное внимание уделяется вопросам **управления кубитами** при помощи вынужденного излучения атомов и недопущения их спонтанного излучения, которое способно нарушить работу всей квантовой системы. В экспериментальном образце квантового компьютера, построенного с использованием рассмотренных выше явлений и процессов, кубиты хранятся и в основном, и возбужденном состояниях атомов. Они располагаются в **оптическом резонаторе** определенным образом, на одинаковых расстояниях. Для управления каждым атомом используется отдельный лазер, который и приводит его в нужное состояние при помощи импульса. Взаимодействие состояний атомов происходит посредством **обмена фотонов в резонаторе**.

Основная причина бурных исследований в области квантовых компьютеров – естественный **параллелизм квантовых вычислений**. Например, если квантовая память состоит из двух кубитов, то параллельно можно работать со всеми ее возможными состояниями: 00, 01, 10, 11, при трёх кубитах состояний уже восемь, и т. д.

За счет возможности параллельной работы с большим числом вариантов, квантовому компьютеру необходимо гораздо меньше времени для решения задач определенного класса. К таким задачам относится разложение числа на простые множители, вычисление дискретного логарифма, поиск данных в большой базе данных и др. Например, есть база данных из 1024 записей, и нужно найти одну из них. Если данные не отсортированы, то на обычном компьютере, в худшем случае, придется перебрать все 1024 записи, а на квантовом компьютере нам потребуется сделать примерно 5–6 запросов. Если будут созданы квантовые базы данных, то поиск в них будет производиться значительно быстрее, нежели в обычных базах.

Создание квантовых компьютеров с числом кубитов около 100 позволит решить любые задачи, которые раньше за приемлемое время решить было невозможно. Бурное развитие квантовых технологий и волоконно–оптических линий связи привело к появлению *квантово–криптографических систем*. Попытка перехвата информации из квантового канала связи неизбежно приводит к внесению в него помех, обнаруживаемых его законными пользователями.

Зная все возможности квантовых компьютеров, можно предположить, что будущее вычислительных систем предрешено, однако, несмотря на все преимущества, которые дают квантовые компьютеры, – это не совсем так...

## 4.5 Оптические компьютеры

Термин *оптический компьютер* уже давно вошел в употребление, хотя смысл этого названия вызывает споры. В последнее время наблюдается большой ажиотаж вокруг этого типа компьютеров: считается, что сейчас они находятся на одном уровне развития с нейронными и квантовыми компьютерами. Однако в кругах специалистов существует мнение, что оптический компьютер в чистом виде еще не разработан. На данный момент существует лишь электронно–оптический или оптоэлектронный компьютер – обычный персональный компьютер.

*Оптический компьютер* – это устройство обработки информации с использованием света. Обсуждая отличительные особенности света как электромагнитной волны, нужно отметить, что частота световой волны на порядок выше частоты электрических сигналов и волн, используемых в современной компьютерной технике. Если электрическая волна, используемая в радиотехнике, совершает приблизительно 100 тыс. колебаний в секунду, то световая волна имеет частоту, которая в 10–100 млн. раз превосходит это значение. Поэтому с ее помощью в фиксированный интервал времени можно передавать большее число сигналов, а значит, и информации. Кроме того, поскольку длина световой волны ничтожно мала, то имеется возможность обработки информации с необычайно высокой скоростью.

Система обработки информации компьютера состоит из пяти подсистем блоков. В *блок ввода* извне поступает информация, подлежащая обработке (данные, сигналы и т.д.). Через *блок вывода* на внешние устройства поступают результаты обработки информации на компьютере. *Блок памяти* хранит порядок действий компьютера (программу) и информацию, являющуюся объектом обработки. Эти блоки выполняют функции в одном компьютере (системе обработки информации), однако для обеспечения обмена информацией между устройствами и с соседними вычислительными системами есть также *блок связи* и *блок передачи* информации.

Если рассматривать компьютер как объединение перечисленных блоков, то свет как носитель данных уже давно используется в подсистемах компьютера. Можно утверждать, что световая техника уже внедрена в компьютер как в систему обработки информации. С этой точки зрения рассмотрим каждую из компьютерных подсистем.

В устройствах ввода информации используются **оптические датчики**. Это устройства, в которых с помощью света определяются количественные характеристики информации, например, наличие / отсутствие предмета, особенности его формы, скорость, температура и т. д. Оптическим датчикам, в отличие от датчиков других типов, не требуется непосредственного контакта с наблюдаемым объектом, они отличаются высокой чувствительностью и быстродействием. К устройствам такого рода относятся различные **оптические мыши**– считыватели (OCR – Optical Character Reader), способные непосредственно считывать вводимую в компьютер информацию, и **сканеры изображений**, вводящие образную графическую информацию.

Случаев использования света в устройствах вывода информации из компьютера огромное множество – это **мониторы, дисплеи, экраны, лазерные принтеры и плоттеры**, черно–белые и цветные, и т. д. Пользователем их является человек, который зрительно воспринимает эту информацию, опять–таки с помощью света. Давно появились жидкокристаллические плоские дисплеи (**жидким кристаллом** называют вещество, которое под воздействием электрического напряжения изменяет свою кристаллическую структуру, вследствие чего изменяются его оптические характеристики, например коэффициент пропускания света). Появились 3–D мониторы с повышенной четкостью изображения, использующиеся не только в качестве терминалов компьютеров, но и в телевизорах высшего качества.

К сфере практического применения световой техники в устройствах вывода компьютера следует отнести всевозможные **оптические принтеры и плоттеры (графопостроители)**, в которых используется лазерный луч, жидкие кристаллы и др. Такие принтеры отличаются качественной печатью и высокой скоростью.

Появилась техника **записи и обнаружения** информации с помощью света (оптической памяти). Известной разработкой в этой сфере является использование визуальных сигналов для подсказки пользователю, куда повернуть голову для обнаружения нужной информации. Существуют интерфейсы с фиксированными и **пространственными виртуальными дисплеями**, позволяющими при повороте головы изменять характер выводимой информации. Работа с фиксированным дисплеем позволяет использовать **шлем виртуальной реальности**, при надевании которого появляется информация в виде одной развернутой странички газеты перед глазами, тогда как при использовании пространственного дисплея информация представляется в виде нескольких страниц, расположенных вокруг пользователя. При повороте головы компьютер отображает следующую часть информации. Поиск нужной информации при использовании пространственного дисплея происходит на 30 % быстрее, чем при помощи фиксированного монитора, что объясняется рефлекторной способностью человека к обнаружению информации в пространстве.

Планируется создание **интерфейсов ввода–вывода** с использованием объемного звука, исходящего из места нахождения информации, нужной пользователю.

В **блоках связи и передачи информации** давно используется оптическое волокно (оптоволокно). Передача сигнала по оптическому волокну заключается в распространении по нему световых волн, генерируемой лазерной накачкой.

Так как свет обладает возможностью передачи информации со скоростью, на порядок превосходящей скорость передачи электрического сигнала, то и объём информации, переданный при помощи света за единицу времени, гораздо больше.

Выпускаемое в настоящее время отечественными и зарубежными производителями оптическое волокно имеет затухание 0,2...0,3 дБ на длине волны 1,55 мкм в расчете на 1 км. Малое затухание позволяет строить участки линий без ретрансляции протяженностью 100 км и более. При использовании специальных систем передачи достигнута дальность в 4000 км без регенерации (с использованием оптических усилителей на промежуточных узлах) при скорости передачи выше 10 Гбит/с. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение. Так как **волоконно-оптические кабели** не излучают в радиодиапазоне, то передаваемую по ним информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Применение оптических средств обмена информацией дает больше преимуществ, чем обычная электрическая передача данных.

При проектировании оптических компьютеров использовалась та же структура фон Неймана, как и в обычных персональных компьютерах. В ней есть один недостаток: на адресацию уходит довольно много времени, что в конечном итоге сокращает быстродействие компьютера. Однако в оптическом компьютере свет, благодаря параллельному распространению в пространстве, может обрабатывать информацию параллельно, что увеличивает возможности его быстродействия.

Оптический компьютер ближайшего будущего пока будет оптоэлектронным, включающим в себя как оптические, так и электронные узлы. Конечной целью его разработки является создание полностью оптического компьютера. Однако на современном этапе более важным является создание такого компьютера, в котором были бы устранены все слабые места существующих ныне ПК. Оптический компьютер может быть гораздо меньше по размерам, так как оптоволокно значительно тоньше (и быстрее) по сравнению с сопоставимыми по ширине полосы пропускания электрическими проводниками. По существу, применение электронных коммутаторов ограничивает быстродействие сетей примерно 50 Гбит/с. Чтобы достичь терабитных скоростей, потребуются оптические коммутаторы (уже есть опытные образцы). Это объясняет, почему в телекоммуникациях побеждает оптоволокно: оно дает тысячекратное увеличение пропускной способности, причем мультиплексирование позволяет повысить ее еще больше. Инженеры пропускают по оптоволокну все больше и больше коротковолновых световых лучей. В последнее время для управления ими применяются чипы типа TI DMD с сотнями тысяч микрозеркал. Если первые трансатлантические медные кабели позволяли передавать всего 2500 Кбит/с, то первое поколение оптоволоконных кабелей – уже 280 Мбит/с. Кабель, проложенный сейчас, имеет теоретический предел пропускной способности в 10 Гбит/с на один световой луч определенной длины волны в одном оптическом волокне.

Недавно компания **Quest Communications** проложила трансатлантический оптический кабель с 96 волокнами, причем по каждому волокну может пропускаться до восьми световых лучей с различной длиной волны. При дальнейшем развитии технологии мультиплексирования число лучей увеличится еще больше, что позволит расширять полосу пропускания без замены кабеля.

## 4.6 Вероятностный компьютер

Новый процессор на физическом уровне оперирует не только нулями и единицами, а **вероятностями** того, что тот или иной бит равен 0 или 1. Бинарная логика уступила место иным правилам, и это оказывается выгодным способом вычислений в целом ряде областей. Процессор новой архитектуры в 30 раз меньше существующих процессоров по площади, потребляет в 12 раз меньше электроэнергии и в 4 раза лучше по пропускной способности, чем его функциональный аналог традиционной конструкции. Правда, он создан под очень узкий тип задач, но более универсальный его вариант уже просматривается на чертёжах. Базовые принципы построения компьютеров, незыблемые вот уже более шестидесяти лет, пошатнулись.

Молодая американская компания **Lyric Semiconductor** первые четыре года после создания работала почти секретно, а теперь у неё есть, что показать публике, вышла в свет, удивив мир первым вероятностным чипом. Процессор построен на основе весьма необычных *логических вентилях, названных «байесовский NAND»*.

Работу над вероятностным процессором **Бен Вигода**, один из основателей Lyric Semiconductor, начал много лет назад в Массачусетском технологическом институте, однако воплотить свою идею **в железе** он смог лишь в 2006 г., когда перспективной разработкой заинтересовались американские военные. В Пентагоне посчитали, что такие чипы могут оказаться полезными в системах противоракетной обороны, выделяя вражеские боеголовки из множества объектов и случайных помех в атмосфере. В результате Агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским проектам DARPA выделило 18 млн. долл., на которые и была создана компания.

Свойство, характеризующее отличие этих схем от схем NAND, которые выполняют двоичную операцию  $2И-НЕ$ , заставляет вспомнить работы в области теории вероятностей английского математика XVIII века Томаса Байеса. Главный недостаток предложенной Байесом формулы заключался в том, что для получения более или менее точных результатов необходимо множество вычислений, поэтому о ней вспомнили только к концу восьмидесятых, когда компьютерная техника достигла уровня, позволяющего использовать её на практике. Вероятностный математический аппарат в настоящее время востребован во многих компьютерных приложениях, например в байесовской фильтрации спама. Вычисления вероятностей широко распространены на практике. Они включены во многие операции, которые происходят, например, при проверке банковских карт; они используются, когда Интернет-магазин предлагает клиенту дополнительные товары, они незаменимы, когда требуется спрогнозировать поведение финансового рынка. До сих пор задачи такого рода решались классическими двоичными компьютерами. Перевод данных операций на более глубокий физический уровень обещает значительное ускорение работы приложений. Поэтому нужен процессор, в триггерах которого входные и выходные биты представляют собой вероятности (отражённые уровнем электрического сигнала). В чём же заключаются отличия и преимущества вероятностного процессора от традиционного чипа, оперирующего с двоичной логикой? Напомним, что базовый принцип работы вычислительных систем уже на протяжении более шестидесяти лет – это закон исключения третьего булевой алгебры, который гласит, что логические переменные могут принимать только два значения: "да" или "нет", "истина" или "ложь", 1 или 0.



Рисунок 4.1 – Сравнение размеров и сложности строительных блоков  
а) обычного цифрового процессора (слева) и вероятностного чипа (справа);  
б) сравнение размеров целых процессоров двух этих видов, с одинаковыми возможностями.

В *Lyric Semiconductor* нашли возможность использовать при вычислениях промежуточные значения между 0 и 1. Смысл этих промежуточных значений состоит в определении степени **вероятности** истинности тех или иных выражений.

Но если в программном обеспечении теорема Байеса применяется уже давно, то в микропроцессорах она до последнего времени не использовалась. Инженеры компании создали такой тип транзисторных логических цепей, который может оперировать не с двоичной, а с байесовской логикой. То есть транзисторы работают в них не в режиме выключателей, а в режиме реостатов. Конструкторы перенесли вероятностные принципы вычислений на аппаратный уровень, что должно существенно ускорить выполнение операций с элементами вероятностей, чем в нынешней ситуации, когда соответствующий софт выполняется на чипах с бинарной логикой.

Определение возможности события, ранее требовавшее выполнения большой компьютерной программы, с новым процессором сводится к операции в одном или нескольких триггерах. В них обрабатываются не только исходные сигналы в виде вероятностей, но и выходные сигналы также представляют собой вероятности того, что, к примеру, две входные вероятности совпадали по величине. В сегодняшних флэш-чипах при чтении данных ошибочным оказывается примерно один бит из тысячи. С таким недостатком справляются микрочипы коррекции. Опираясь на уникальный код, записываемый каждый раз, когда данные поступают в память, они вычисляют контрольную сумму и определяют, какие биты оказались перевёрнутыми.

Однако в будущем с повышением плотности хранения данных число ошибок будет неизбежно возрастать, даже в чипах следующего поколения ошибочным может оказаться один бит на каждую сотню, из-за чего придётся усложнять микросхемы коррекции и увеличивать их площадь. При использовании традиционных технологий исправление ошибок становится узким местом на пути повышения *скорости записи / чтения* в твёрдой памяти. В будущем ради уплотнения памяти и снижения её стоимости производители полупроводниковых схем могут пойти на допущение начального уровня ошибок в 1 бит на 100. С их исправлением будет непросто справляться микрочипам традиционной архитектуры. Потребуется увеличивать их размер и сложность. Но такая задача идеально подходит вероятностному чипу. Собственно, крохотный чип, названный LEC, уже сегодня может легко вылавливать ошибки битов в количестве 1 на 100.

Хотя LEC работают на основе кардинально иных принципов, чем бинарные чипы, они полностью совместимы с обычными электронными компонентами. LEC уже готов для лицензирования, и компания надеется, что в течение двух лет такие схемы найдут себе место в смартфонах и карманных компьютерах.

Но прежде чем новинка получит массовое распространение, фирме предстоит доказать надёжность и масштабируемость своей технологии. Компания уже готова продавать лицензии на LEC с 12-месячной технической поддержкой по интеграции чипа в конкретную продукцию.

Компания уже разрабатывает следующий продукт GP5 – универсальный программируемый вероятностный процессор, образцы которого планируется представить не позже 2013 года. По мнению разработчиков, он будет идеальным помощником в таких областях, как поиск данных или системы расшифровки генома.

Для этого чипа разработан не только новый вид триггеров и вентиляей, но и новую компьютерную архитектуру, и даже новый язык программирования (*PSBL – Probability Synthesis to Bayesian Logic*, то есть вероятностный синтез байесовской логики). Код, написанный на PSBL, и будет запускаться на созданном для него процессоре GP5, производительность которого должна на три порядка превышать возможности классических двоичных систем с массовой архитектурой x86.

Также в тысячу раз будет меньше мощность и стоимость комплексов, необходимых для выполнения определённого объёма вычислений из областей статистики и вероятности. В таких задачах один чип от Lyric заменит тысячу классических процессоров. Как утверждают разработчики, эта микросхема будет способна эффективно рассчитывать вероятности в любых типах приложений – от поиска в Интернете до *секвенирования ДНК*. Уже сегодня заявлена в тысячу раз большая производительность таких расчётов по сравнению с обычными современными x86-совместимыми системами на процессорах AMD и Intel.

Вероятностные процессоры не смогут полностью заменить традиционные двоичные, поскольку они эффективны лишь для специфических вычислений, но эти два типа микросхем способны неплохо сосуществовать в самой различной технике, существенно повышая её общую производительность.

## 4.7 Биологические компьютеры

Естественный интерес ряда исследовательских групп (среди них Оксфордский и Техасский университеты, Массачусетский технологический институт, лаборатории Беркли, Санди и Рокфеллера) вызвали природные способы хранения и обработки информации в биологических системах. Итогом их изысканий явился гибрид информационных и молекулярных технологий, а также достижений биохимии – **биологический компьютер**.

Идут разработки нескольких типов *биокомпьютеров*, которые базируются на различных биологических процессах. Это, в первую очередь, находящиеся в стадии разработки *ДНК-компьютеры* и *клеточные биокомпьютеры*.

**ДНК-компьютеры.** В живых клетках генетическая информация закодирована в молекуле ДНК (*дезоксирибонуклеиновой кислоты*). ДНК – это полимер, состоящий из субъединиц, называемых нуклеотидами. Нуклеотид представляет собой комбинацию сахара (дезоксирибозы), фосфата и одного из четырех входящих в состав ДНК азотистых оснований: *аденина (А)*, *тимина (Т)*, *гуанина (G)* и *цитозина (С)*. Молекула ДНК образует спираль, состоящую из двух цепей, объединенных водородными связями. При этом основание А одной цепи может соединяться водородными связями только с основанием Т другой цепи, а основание G – только с основанием С. Имея одну из цепей ДНК, всегда можно восстановить строение второй.

Благодаря этому фундаментальному свойству ДНК, получившему название *комплементарности*, генетическая информация может точно копироваться и передаваться от материнских клеток к дочерним клеткам. Репликация молекулы ДНК происходит за счет работы специального фермента *ДНК-полимеразы*. Этот фермент скользит вдоль ДНК и синтезирует на ее основе новую молекулу, в которой все основания заменены на соответствующие парные. Причем фермент начинает работать, когда к ДНК прикрепился коротенький кусочек – «затравка» (праймер).

В клетках существует также родственная молекуле ДНК молекула матричной *рибонуклеиновой кислоты* (РНК). Она синтезируется специальным ферментом, использующим в качестве образца одну из цепей ДНК, и комплементарна по отношению к ней. Именно на молекуле РНК, в клетке, как на матрице, с помощью специальных ферментов и вспомогательных факторов происходит синтез белков. Молекула РНК химически устойчивее, чем ДНК, поэтому экспериментаторам с ней работать удобнее. Последовательность нуклеотидов в цепи ДНК / РНК определяет генетический код. Единицей генетического кода – *кодоном* – является последовательность из трех нуклеотидов. Ученые решили попытаться, по примеру природы, использовать молекулы ДНК для хранения и обработки данных в биологических компьютерах.

Первым из них был Леонард Эдлмен из университета Южной Калифорнии, сумевший решить *задачу гамильтонова пути*. Суть ее в том, чтобы найти маршрут движения с заданными точками старта и финиша между несколькими городами, в каждом из которых разрешается побывать только один раз. «Дорожная сеть» представляет собой однонаправленный граф. Эта задача решается прямым *перебором*, однако при увеличении числа городов сложность ее возрастает экспоненциально (для цепочек ДНК число таких пунктов («городов») равно семи, т.е.  $n=7$ ). Каждый такой «город» Эдлмен идентифицировал уникальной последовательностью из 20 нуклеотидов. Тогда путь между любыми двумя городами будет состоять из второй половины кодирующей последовательности для точки старта, и первой половины кодирующей последовательности для точки финиша (молекула ДНК, как и вектор, имеет направление).

Синтезировать такие последовательности современная молекулярная аппаратура позволяет очень быстро. В итоге последовательность ДНК с решением составит 140 нуклеотидов ( $7 \times 20$ ). Остается только синтезировать и выделить такую молекулу ДНК. Для этого в пробирку помещается около 100 триллионов молекул ДНК, содержащих все возможные 20-нуклеотидные последовательности, кодирующие города и пути между ними. Далее за счет взаимного притяжения нуклеотидов А – Т и G – С отдельные цепочки ДНК сцепляются друг с другом случайным образом, а специальный фермент *лигаза* сшивает образующиеся короткие молекулы в более крупные образования. При этом синтезируются молекулы ДНК, воспроизводящие все возможные маршруты между городами. Нужно лишь выделить из них те, что соответствуют искомому решению. Эдлмен решил эту задачу биохимическими методами, последовательно удалив сначала цепочки, которые не начинались с первого города – точки старта – и не заканчивались местом финиша, затем те, что содержали более семи городов или не содержали хотя бы один. Легко понять, что любая из оставшихся после такого отбора молекула ДНК представляет собой решение задачи.

Вслед за работой Эдлмена последовали и другие. Ллойд Смит из университета Висконсин решил с помощью ДНК задачу доставки четырех сортов пиццы по четырем адресам, которая подразумевала 16 вариантов ответа. Ученые из Принстонского университета решили комбинаторную шахматную задачу: при помощи РНК нашли правильный ход шахматного коня на доске из девяти клеток (всего их 512 вариантов).

Ричард Липтон из Принстона впервые показал, как, используя ДНК, кодировать двоичные числа и решать логические выражения. Имея такое выражение, включающее  $n$  переменных, нужно найти все комбинации значений переменных, делающие выражение истинным. Задачу можно решить только перебором  $2^n$  комбинаций. Все эти комбинации легко закодировать с помощью ДНК, а дальше действовать по методике Эдлмена. Липтон предложил даже способ взлома шифра DES (американский криптографический шифр), трактуемого как своеобразное логическое выражение.

Первую модель биокомпьютера в виде механизма из пластмассы в 1999 г. создал И. Шапиро из института естественных наук Вейсмана. Модель имитировала работу **молекулярной машины** в живой клетке, собирающей белковые молекулы по информации с ДНК, используя РНК в качестве посредника между ДНК и белком. В 2001 г. Шапиро удалось реализовать модель в реальном биокомпьютере, который состоял из молекул ДНК, РНК и специальных ферментов. Молекулы фермента выполняли роль аппаратного, а молекулы ДНК – программного обеспечения. В одной пробирке помещалось около триллиона элементарных вычислительных модулей. В результате скорость вычислений достигала миллиарда операций в секунду, а точность – 99,8%.

Пока биокомпьютер Шапиро может применяться лишь для решения самых простых задач, выдавая всего два типа ответов: «истина» или «ложь». В проведенных экспериментах за один цикл все молекулы ДНК параллельно решали единственную задачу. Однако потенциально они могут трудиться одновременно над разными задачами, в то время как традиционные ПК являются, по сути, однозадачными.

В 2002 г. фирма *Olympus Optical* объявила о создании ДНК–компьютера, предназначенного для генетического анализа. Машина создана в сотрудничестве с биологом Акирой Тояма из Токийского университета. Компьютер имеет молекулярную и электронную составляющие. Первая осуществляет химические реакции между молекулами ДНК, обеспечивает поиск и выделение результата вычислений. Вторая – обрабатывает информацию и анализирует полученные результаты. Сейчас анализ генов выполняется вручную и требует много времени: при этом формируются многочисленные фрагменты ДНК и контролируется ход химических реакций. Когда **ДНК–компьютинг** будет использоваться для генетического анализа, то задачи, которые ранее выполнялись в течение трех дней, будут решаться за шесть часов. Технология генетического анализа на основе ДНК–компьютера находит применение в медицине и фармацевтике. Ученые планируют внедрять молекулярные наноустройства в тело человека для мониторинга состояния его здоровья и синтеза необходимых ему лекарств.

Возможностями биокомпьютеров заинтересовались и военные. Американское агентство по исследованиям в области обороны DARPA выполняет проект под названием **BioComp**. Его цель – создание мощных вычислительных систем на основе ДНК. Попутно исследователи надеются научиться управлять процессами взаимодействия белков и генов. Для этого планируется создать мощный симулятор **BioSPICE**, способный средствами машинной графики визуализировать биомолекулярные процессы.

**Клеточные компьютеры.** Еще одним перспективным направлением биокомпьютинга является создание клеточных компьютеров. Для этой цели идеально подходят бактерии, если бы в их геноме удалось включить некую логическую схему, которая могла бы активизироваться в присутствии определенного вещества. Такие компьютеры очень дешевы в производстве. Им не нужна столь стерильная атмосфера, как при производстве полупроводников. И единожды запрограммировав клетку, можно легко и быстро вырастить тысячи клеток с такой же программой.

В 2001 г. в США были созданы **транsgенные микроорганизмы** (микроорганизмы с искусственно измененными генами), клетки которых могут выполнять логические операции **И** и **ИЛИ**. Учёные использовали способность генов синтезировать тот или иной белок под воздействием определенной группы химических раздражителей. Генетический код бактерий *Pseudomonas putida* был изменён таким образом, что их клетки обрели способность выполнять простые логические операции. Например, при выполнении операции **И** в клетку подаются два вещества (входные операнды), под влиянием которых ген вырабатывает определенный белок. Ученые создают на базе этих клеток более сложные логические элементы, а также ищут возможности создания клетки, выполняющей параллельно несколько логических операций.

**Элементная база биологических компьютеров.** Для разработки таких компьютеров нужно получить базовые элементы. Предложений поступает очень много. Так, исследователи израильского института «Технион» создали **самособирающийся нанотранзистор**, для разработки которого они использовали особенности структуры ДНК и электронных свойств углеродных нанотрубок. Сначала частицы молекулы ДНК покрыли белками бактерии «E. Coli», после этого связали с ДНК покрытые антителами нанотрубки, затем в процессе создания устройства использовали ионы золота и серебра. Получившаяся в результате конструкция работает как транзистор.

В 2004 году исследователи разработали **микроскопические устройства**, которые можно внедрять в кровоток. Они могут диагностировать онкологические заболевания и выпускать в нужном месте необходимую дозу лекарства. Устройства построены на базе синтетических ДНК, часть цепи служит для определения высокой концентрации РНК определенного вида, которые вырабатываются раковыми клетками, другая часть молекулярной цепи является хранилищем и управляющей структурой для еще одной нуклеотидной последовательности лекарства. Этот фрагмент ДНК, выпущенный в нужном месте, подавляет активность гена, вовлеченного в процесс развития рака. Ученые продемонстрировали несколько деталей биологической молекулярной машины, которая успешно идентифицировала в пробирке клетки, соответствующие раку простаты и раку легких. До полноценного устройства, которое можно было бы применять в борьбе с раковыми заболеваниями, еще далеко, однако ученые сделали важный шаг на пути создания молекулярных медицинских ДНК-роботов.

В том же году профессор Ричард Киль и его коллеги из университета штата Миннесота, США, разработали экспериментальные **биоэлектронные схемы**. Американские ученые использовали цепочки ДНК для создания плоской ткани, напоминающей застежку-липучку на уровне наноструктур. Проводимые опыты продемонстрировали, как искусственные фрагменты ДНК самостоятельно собрались в заранее рассчитанную наноструктуру. С регулярным шагом на этой структуре образовались липучки, которые способны принять другие сложные органические молекулы или различные металлы. Авторы проекта закрепляли такие молекулы на ткани, сформированной ДНК, будто радиодетали на пластмассовой плате.

**Наноконпоненты**, собранные на основе ДНК, теоретически могут создать схему с характерным расстоянием между деталями в одну треть нанометра. А поскольку такие компоненты могут сохранять электрические или магнитные заряды, испытываемая в Миннесоте технология – это прообраз будущей технологии создания сверхбыстродействующих электронных схем с высокой плотностью упаковки информации. Они будут совмещать органические и неорганические компоненты.

В 2005 г. Юнсэон Чой из университета штата Мичиган, США, применил молекулы ДНК для построения наночастиц с заданными свойствами. Использовались так называемые **дендримеры** (крошечные разветвленные полимеры), концы которых могут содержать различные молекулы. Сначала были синтезированы отдельные звенья дендримеров, причём каждое звено снабжалось молекулой лекарства и небольшим фрагментом половинки ДНК. При смешивании всех этих ингредиентов, ДНК соединялись с дополнительными парами оснований. Короткие звенья полимера автоматически сшивались в длинные комплексы. Дендримеры могут избирательно поставлять пять отдельных лекарств пяти видам клеток. Синтез молекулы по методике Чоя занимает 10 шагов вместо 25, при использовании прежних технологий. Недостаток технологии состоит в том, что синтез нужных цепочек может занимать по несколько месяцев.

Исследователь Нью-Йоркского университета Нэд Симэн создал **наномашину**, производящую единственный полимер, повторяющий структуру самого устройства, с размерами 110 x 30 x 2 нм. Аппарат состоит из ДНК–машин, которые работают на основе определенных комбинаций цепочек молекул ДНК. У исследователя есть уверенность в том, что ему удастся создать ДНК–машину, работающую подобно молекуле РНК. Свое применение будущая искусственная рибосома найдет в синтезе новых материалов по заданной последовательности, закодированной в ДНК. В конце концов, можно научиться делать полимеры и новые материалы в больших количествах и за малый промежуток времени благодаря ДНК-машинам, уверен Симэн.

Билл Дитто из Технологического института штата Джорджия, США, провел эксперимент, подсоединив микродатчики к нескольким **нейронам пиявки**. Он обнаружил, что в зависимости от входного сигнала нейроны образуют новые взаимосвязи. Отсюда можно сделать вывод, что биологические компьютеры, состоящие из нейронно–подобных элементов (нейроэлементов), в отличие от кремниевых устройств, смогут самостоятельно искать нужные решения, посредством самопрограммирования. Исследователь намерен использовать результаты своей работы для создания искусственного мозга роботов будущего.

В настоящее время область ДНК–вычислений пребывает на этапе подтверждения концепции, когда возможность реального применения уже доказана. Можно утверждать, что в ближайшие десятилетия технология продемонстрирует свои реальные возможности. Сейчас происходит оценка того, насколько полезны или вредны ДНК-компьютеры для человечества. Применение в вычислительной технике биологических материалов позволит со временем уменьшить компьютеры до размеров живой клетки. Пока это выглядит как **чашка Петри, наполненная спиралью ДНК**, или как нейроны, взятые у пиявки и подсоединенные к электрическим проводам.

По существу, наши **собственные** клетки – это не что иное, как биологические машины молекулярного размера, а примером биокомпьютера служит наш мозг.

Если бы модель биологического компьютера Ихуда Шапиро, упоминавшаяся ранее, состояла из настоящих биологических молекул, то его размер был бы равен величине одного из компонентов клетки—0,000 025 мм. По мнению исследователя, современные достижения в области сборки молекул позволяют создавать устройства клеточного размера, которое можно применять для биомониторинга. Более традиционные ДНК–компьютеры в настоящее время используются для расшифровки генома живых существ. Пробы ДНК применяются для определения характеристик другого генетического материала: благодаря правилам спаривания спиралей ДНК, можно определить возможное расположение четырех базовых аминокислот (А, С, Т и G).

Потенциал биокомпьютеров очень велик. По сравнению с обычными вычислительными устройствами они имеют ряд уникальных особенностей. Во–первых, они используют **не бинарный, а тернарный код** (так как информация в них кодируется тройками нуклеотидов). Во–вторых, поскольку вычисления производятся путем одновременного вступления в реакцию триллионов молекул ДНК, они могут выполнять до  $10^{15}$  операций в секунду. Правда, извлечение результатов вычислений предусматривает несколько этапов очень тщательного биохимического анализа и осуществляется гораздо медленнее. В–третьих, вычислительные устройства на основе ДНК хранят данные с плотностью, в триллионы раз превышающей показатели оптических дисков. И, главное, ДНК–компьютеры имеют исключительно низкое энергопотребление.

Однако при разработке биологических компьютеров многие ученые столкнулись с целым рядом серьезных проблем. Первая связана со считыванием результатов вычислений – современные способы **секвенирования** (распознавания кодирующей последовательности) пока несовершенны: невозможно за один раз распознать цепочки длиной более нескольких тысяч оснований – это весьма дорогостоящая, сложная и трудоемкая операция. Вторая проблема – ошибки в вычислениях. Для химиков и биологов точность при синтезе и секвенировании оснований в 1% считается очень хорошей. Но для информационных технологий она неприемлема: решения задачи могут потеряться, когда молекулы просто прилипают к стенкам сосудов; кроме того, нет никаких гарантий, что в ДНК не возникнут точечные мутации, и т. п.

Кроме того, молекулы ДНК с течением времени могут распадаться, и тогда результаты вычислений просто исчезают на глазах! Клеточные компьютеры, по сравнению с другими, работают довольно медленно, и их легко «сбить с толку», намеренно или ненамеренно нарушив вычислительный процесс. С этими проблемами ученые активно борются, но насколько им удастся преуспеть – покажет ближайшее время. В любом случае, для специалистов – **биоинформатиков** открываются большие перспективы. Однако биокомпьютеры на широкие массы пользователей не рассчитаны.

В перспективе **наноконьютеры на основе ДНК** смогут взаимодействовать с клетками человека, осуществлять наблюдение за потенциальными болезнетворными изменениями и синтезировать лекарства для борьбы с ними. С помощью **клеточных компьютеров** станет возможным объединение информационных технологий с биотехнологиями. Они смогут управлять биохимическими процессами, регулировать биологические реакции внутри человеческого организма, производить гормоны и лекарственные вещества, а также доставлять к определенному больному органу пациента необходимую дозу лекарств, и др.

## Глава 5. Искусственный интеллект



На протяжении многих тысячелетий человек пытался определить, каким образом он думает, как происходят мыслительные процессы у него в голове, какие явления происходят у него в мозге.

В сфере **искусственного интеллекта** (ИИ) ученым предстоит решить еще более сложную задачу. Специалисты в области **интеллектуальной электроники** должны не только понять сущность самого понятия «**интеллект**», но и создать интеллектуальные сущности.

Искусственный интеллект (интеллектуальная электроника, или **интеллекtronика**) – наука довольно молодая. Первые опыты в этой сфере появились вскоре после окончания второй мировой войны, а термин «искусственный интеллект» возник немного позже – в 1956 г. Если в других областях науки достаточно сложно сделать великое открытие, то эта область открывает большие перспективы.

В настоящее время научное направление искусственного интеллекта включает в себя большой перечень различных задач, включая как общие понятия, такие, как восприятие и обучение, так и специальные задачи, как, в частности, доказательство теорем, игра в шахматы, диагностика заболеваний. Проводится анализ и систематизация интеллектуальных задач, касающихся всех сфер интеллектуальной деятельности людей, и поэтому его можно считать универсальной областью науки и робототехники.

Примечательно, что единого определения ИИ не существует. В научных работах имеются различные толкования этого вопроса, охватывающие не только мыслительные процессы, но и формулировки относительно поведения индивидуума. Если внимательно изучить историю развития искусственного интеллекта, то можно увидеть, что исследования проводились по нескольким направлениям. Между теми учеными, которые занимались исследованиями человеческих способностей, и теми, кто занимался проблемами рациональности поведения человека, существуют спорные вопросы. Научный подход, который ориентируется на изучение человека, должен иметь в своей основе выдвижение большого количества гипотез, а также экспериментального их доказательства. В то же время подход, ориентированный на изучение понятия рациональности – это своего рода сочетание техники и математики.

Для того чтобы проверить, способен ли компьютер совершать действия, подобно человеку, был создан подход, который в основе своей полагался на тест, созданный **Аланом Тьюрингом**, использующийся как функциональное определение интеллекта. Английский математик, заложивший основы компьютерной техники, в 1950 г. опубликовал научную статью под названием «Вычислительные машины и разум», в которой был предложен тест, с помощью которого можно определить интеллектуальный уровень и природу интеллекта компьютера. Тьюринг пришел к выводу, что нет смысла в разработке большого перечня требований к искусственному интеллекту, который ко всему прочему может оказаться очень противоречивым. Поэтому был предложен тест, основанный на том, что *в конечном итоге нельзя будет отличить поведение объекта, наделенного искусственным интеллектом, от поведения человека*. Компьютер сможет успешно пройти тестирование, если человек–экспериментатор, который задавал ему вопросы в письменном виде, не сумеет определить, от кого на самом деле были получены ответы – от человека или от интеллектуального устройства.

Тьюринг вывел формулу, определяющую границу, когда искусственный интеллект мог достигнуть уровня естественного разума. *Если компьютер сможет обмануть человека при ответах на 30% вопросов, то можно считать, что он обладает искусственным интеллектом.* Для того, чтобы компьютер смог ответить на поставленные вопросы, он должен проделать большой объем действий. Он должен обладать возможностями обработки информации на естественном языке, которые позволили бы успешно общаться с устройством на одном из существующих в мире человеческих языков. Он должен быть также оснащен средствами *представления знаний*, при помощи которых устройство будет записывать в память новую информацию. Должны также присутствовать средства автоматического формирования выводов, которые бы обеспечивали возможность использования имеющейся информации для поисков ответов на поставленные вопросы и формулирование новых выводов.

Средства **машинного обучения** призваны обеспечить компьютеру возможность приспособиться к новым обстоятельствам, и обнаруживать признаки стандартной ситуации. Тест Тьюринга сознательно исключает возможность непосредственного физического взаимодействия человека, проводящего эксперимент, и компьютера, потому что процесс создания искусственного интеллекта не требует физической имитации человека. В случае использования полной версии теста, экспериментатор может использовать видеосигнал с целью проверки способности компьютера к восприятию. Поэтому при прохождении полного теста Тьюринга к перечисленным выше средствам нужно добавить **машинное зрение** для восприятия объектов, а также средства робототехники для возможности **манипулирования объектами и перемещения их**.

Все это в конечном итоге и является основой искусственного интеллекта, а тест Тьюринга не потерял своей важности и через полвека. Ученые, которые занимаются изучением и созданием искусственного интеллекта, никогда не решают задачи, специально направленные нахождение данного теста, считая, что более важно подробно изучить принципы, которые лежат в основе интеллекта, чем создать копию одного из носителей естественного природного интеллекта. Тест Тьюринга был признан эталоном, но до последнего времени никому не удавалось создать программу, которая бы успешно преодолела тест. Ученые всегда могли без особых проблем определить, с кем они беседуют, с компьютером или с человеком.

Однако несколько лет назад появилась информация о том, ученым впервые за пятьдесят лет удалось вплотную приблизиться к созданию искусственного интеллекта, который был способен думать подобно человеку. Авторами программы была группа российских ученых. В 2007 г. в Великобритании прошел всемирный научный конкурс кибернетического интеллекта, который проводился под эгидой университета Реддинга. Российские ученые представили программу под названием «Евгений». Кроме нее, в тестировании принимали участие еще 4 программы. Российская разработка была признана победителем, ответив на 29,2 процента поставленных вопросов точно так же, как человек. Программе не хватило всего 0,8 процента для того, чтобы осуществилось так давно ожидаемое событие – появление искусственного интеллекта. Американские ученые не отстают от русских. Им удалось создать **программных ботов**, разработанных специально для компьютерной игры. Боты уверенно преодолели модифицированное тестирование Тьюринга, причём с гораздо большим успехом, чем это сделали люди, которые проходили тесты вместе с *ботами*.

Из этого можно сделать вывод, что искусственный интеллект сумел достичь того уровня, когда уже невозможно определить, где отвечает человек, а где – компьютер. Конечно, утверждать, что преодоление столь специфичного варианта теста Тьюринга, каковым является игровой **шуттер**, является показателем создания человеком искусственного интеллекта, пока рано. Вместе с тем, это дает право утверждать, что искусственный интеллект постепенно приближается к естественному человеческому разуму, а также, что игровые боты уже достигли того уровня развития, на котором можно обманывать автоматические системы, определяющие человеческое поведение.

Создателями **игровых ботов** стали ученые из университета Техаса, США, Якоб Шрум, Ристо Мииккулайнен и Игорь Карпов. Им удалось создать искусственный интеллект, который может вести игру на человеческом уровне. Была создана огромная виртуальная площадка, на которой сражалось много ботов и реальных людей. Большинство играли анонимно. Более половины игровых ботов были определены судьями как люди. В то же время, некоторых людей они посчитали ботами. Напрашивается вывод, что компьютерные персонажи уже в играх ведут себя как люди.

Эксперимент проводился в рамках конкурса под названием **BotPrize**, который стартовал в Америке еще в 2008 году. Его участниками стали ученые и разработчики, чьи компьютерные программы способны обманывать людей, выдавая себя за реальных игроков. Но первые успехи в данной сфере были достигнуты только в 2010 году. Победители получают премию в размере 4,5 тысяч фунтов стерлингов, и продолжают работать над своими программами. Стремиться есть к чему, ведь чтобы признать создание искусственного интеллекта, программа должна убедить всех в том, что является человеком, в ходе беседы. А для этого необходимы глубинные познания относительно работы человеческого мозга и принципов формирования речи. Искусственный интеллект, подобный человеческому разуму, становится реальностью.

Фактически, достигнута важная веха в области создания искусственного интеллекта – компьютер впервые готов успешно пройти тест Тьюринга, который проводится судьей – человеком. Судья, в естественной языковой манере, ведет разговор с одним человеком и одним компьютером, причём каждый из собеседников пытается казаться человеком. Участники размещаются в изолированных местах. Информационные технологии развивались экспоненциально в течение многих десятилетий. Это привело к значительному росту таких показателей, как память, мощность процессора, совершенствованию программных алгоритмов, распознавания голоса и общего интеллекта машин. Сегодня это развитие достигло той стадии, когда независимые судьи буквально не в состоянии сказать, кто является человеком, а кто нет. Конечно, ответы искусственного интеллекта на запутанные вопросы, заданные судьей, могут показаться детскими или глупыми, но, тем не менее, подобные ответы мог бы дать и человек.

**Что представляет собой искусственный интеллект?** Наука под названием «искусственный интеллект» входит в комплекс *компьютерных наук*, а создаваемые на ее основе технологии относятся к *информационным технологиям*. Задачей этой науки является обеспечение разумных рассуждений и действий с помощью искусственных устройств и вычислительных систем. На этом пути возникают следующие трудности:

а) в большинстве случаев до получения результата не известен алгоритм решения задачи. Например, точно неизвестно, как происходит понимание текста, поиск доказательства теоремы, построение плана действий, узнавание изображения.

б) искусственные устройства (компьютеры и программы) не обладают достаточным уровнем начальной подготовки в конкретной области знаний. Специалист же добивается результата, используя свою интуицию и компетентность (знания и опыт).

Это означает, что искусственный интеллект представляет собой *экспериментальную науку*, что заключается в том, что, создавая те или иные компьютерные представления и модели, исследователь сравнивает их поведение между собой и с примерами решения тех же задач специалистом – человеком, и модифицирует их на основе этого сравнения, пытаясь добиться лучшего соответствия результатов. Чтобы модификация программ постепенно улучшала результаты, надо иметь исходные разумные представления и модели. Их доставляют психологические исследования сознания, в частности, **КОГНИТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ**. Важная характеристика методов искусственного интеллекта – он имеет дело только с теми механизмами компетентности, которые носят **вербальный** характер (имеют символьное представление). Далекое не все механизмы, которые использует человек для решения задач, именно таковы.

**Истоки искусственного интеллекта.** Первые исследования, относимые к искусственному интеллекту, были предприняты почти сразу же после появления первых ЭВМ. В 1954 г. американский исследователь А. Ньюэлл написал программу для игры с компьютером в шахматы. Этой идеей он поделился с аналитиками корпорации **РЭНД**, которые предложили ему помощь. В качестве теоретической основы программы использовался метод, предложенный в 1950 г. К. Шенноном, основателем теории информации. Точная формализация этого метода была выполнена А. Тьюрингом. К работе была привлечена группа голландских психологов под руководством А. Де Гроота, изучавших стили игры выдающихся шахматистов. Через два года совместной работы этим коллективом был создан язык программирования **ИПЛ1** – первый символичный язык обработки списков. Вскоре появилась первая программа в области искусственного интеллекта **«Логик–Теоретик»** (1956 г.), предназначенная для автоматического доказательства теорем в исчислении высказываний. Собственно же программа для игры в шахматы, **NSS**, была завершена в 1957 г. В основе ее работы лежали **эвристики** (правила, позволяющие сделать выбор при отсутствии точных теоретических оснований) и описание целей. Управляющий алгоритм уменьшал различия между оценками текущей ситуации и оценками цели или одной из подцелей.

В 1960 г. той же группой программистов, на основе принципов, использованных в **NSS**, была написана программа (названная **GPS**, General Problem Solver, – универсальный решатель проблем), которая могла справляться с головоломками, вычислять неопределенные интегралы, и др. Результаты привлекли внимание специалистов в области вычислений. Появились программы автоматического доказательства теорем из планиметрии и решения алгебраических задач (сформулированных по-английски). Дж. Маккарти из Стэнфордского университета заинтересовался математическими основами этих результатов, и вообще символическими вычислениями. В результате в 1963 г. им был разработан язык **ЛИСП** (LISP, от List Processing), основу которого составило использование единого спискового представления для программ и данных, применение выражений для определения функций, скобочный синтаксис.

В это же время в СССР, в МГУ и Академии наук, были проведены пионерские исследования под руководством Вениамина Пушкина и Дмитрия Поспелова, целью которых было выяснить, каким же образом человек решает задачи перебора?

В качестве полигона для этих исследований были выбраны различные математические игры, в частности, игра «15» и игра в «5», а в качестве инструментального метода исследования – регистрация движения глаз или **гностическая динамика**. Основными методами регистрации движения глаз были электроокулограмма и использование присоски, помещаемой на роговицу глаза. Цель каждой такой игры заключается в переходе от некоторой исходной ситуации к конечной. Переходы осуществляются путем последовательного перемещения фишек по горизонталям и вертикалям на свободное поле. Возьмем, например, игру "5", исходная и конечная ситуации в которой выглядят, соответственно, следующим образом:

	1	4

и

1	2	3
	4	5

Оптимальным образом задача решается за шесть ходов, которые соответствуют перемещениям фишек 1, 4, 5, 3, 2, 1. Решение было бы намного сложнее, если бы на первом ходу двигалась бы, например, фишка 2, или на втором ходу – фишка 3.

Задача может быть представлена в виде дерева (лабиринта), корнем которого является исходная ситуация, а перемещение каждой фишки приводит в новую вершину. Все ситуации являются, при таком подходе, вершинами графа или точками на дереве игры, и именно они являются теми элементами, из которых строится «модель мира». Два элемента связывает ход – преобразование одной ситуации в другую.

Модель игры приводит к полному перебору вариантов и составляет основу лабиринтной гипотезы мышления. Анализ экспериментальных данных позволил вычлениить два вида изменений параметров гностической динамики в процессе обучения. А именно, изменения ряда параметров уже при решении второй или третьей из множества однотипных задач у одной из групп испытуемых характеризуется появлением точки излома. К числу этих параметров относятся время решения задачи, количество осмотров условий, количество осмотров цели, общее количество осмотров, плотность осмотра и отношение числа осмотров условий к числу осмотров цели. У другой же группы испытуемых таких изменений не происходит. Так, например, отношение числа осмотров условий задачи к числу осмотров цели у первой группы испытуемых претерпевает излом после решения второй задачи и продолжает уменьшаться при решении числа последующих задач. У второй группы испытуемых уменьшения этого отношения не происходит. То же относится и к времени решения задач. Анализ и других экспериментальных данных подтвердил существование некоторых общих тенденций в динамике обучения решению задач. Есть все основания полагать, что основным фактором, влияющим на временные характеристики этого процесса у первой группы испытуемых, является момент понимания эквивалентности задач или транспозиции (переноса) отношений, сформированных в ходе решения первых задач.

Изучение всей совокупности данных позволяет связать формирование подобной системы отношений со временем решения второй и последующих задач – именно тогда формируется то общее, что связывает первую и вторую задачи. Осознание общности и, следовательно, «открытие эквивалентности» происходит при столкновении с третьей задачей. Сопоставление экспериментальных данных свидетельствует также о том, что соотнесение различных ситуаций связано между собой посредством такого когнитивного компонента, как анализ цели. Иначе говоря, анализ исходной ситуации управляется анализом цели и процессом соотнесения исходной и конечной ситуаций.

Моделирование исходной ситуации является управляемым компонентом, а установленные в конечной ситуации отношения являются регулятором этого процесса. Сама модель исходной ситуации рассматривается с точки зрения ситуации конечной. Модель можно изобразить в виде графа, но вершинами этого графа будут не ситуации, как при использовании *лабиринта вариантов*, а элементы ситуаций. Ребрами, соединяющими вершины, будут не переходы из одной ситуации в другую, а те отношения, которые были выявлены на множестве этих элементов с помощью гностической динамики. Эти соображения и составляют основу модельной гипотезы мышления, и привели к появлению в 1964 г. языка (и метода) ситуационного управления.

К исследованиям в области искусственного интеллекта стали проявлять интерес и логики. В том же 1964 г. была опубликована работа ленинградского логика Сергея Маслова «Обратный метод установления выводимости в классическом исчислении предикатов», в которой впервые предлагался метод автоматического поиска доказательства теорем в исчислении предикатов. В 1965 г. в США появляется работа Дж. А. Робинсона, посвященная иному методу автоматического поиска доказательства теорем в исчислении предикатов первого порядка, названному методом резолюций. Он и послужил отправной точкой для создания нового языка программирования со встроенной процедурой логического вывода – языка **ПРОЛОГ** в 1971 г.

В 1966 году в СССР Валентин Турчин разработал язык рекурсивных функций **РЕ-ФАЛ**, предназначенный для описания языков и разных видов их обработки. Хотя он и был задуман как алгоритмический метаязык, но для пользователя это был, подобно **ЛИСП’у** и **ПРОЛОГ’у**, язык обработки символьной информации. В конце 60-х гг. появились первые игровые программы, системы для элементарного анализа текста и решения некоторых математических задач (геометрии, интегрального исчисления). В возникавших при этом сложных переборных проблемах количество перебираемых вариантов резко снижалось применением всевозможных эвристик и «здравого смысла». Такой подход стали называть **эвристическим программированием**. Дальнейшее развитие эвристического программирования шло по пути усложнения алгоритмов и улучшения эвристик. Однако вскоре стало ясно, что существует некоторый предел, за которым никакие улучшения эвристик и усложнения алгоритма не повысят качества работы системы и, главное, не расширят ее возможностей. Программа, которая играет в шахматы, никогда не будет играть в шашки или карточные игры.

Постепенно исследователи стали понимать, что всем ранее созданным программам недоставало самого важного – знаний в соответствующей области. Специалисты, решая задачи, достигают высоких результатов благодаря своим знаниям и опыту; если программы будут обращаться к знаниям и применять их, то они тоже достигнут высокого качества работы. Это понимание, возникшее в начале 70-х годов, по существу, означало качественный скачок в работах по искусственному интеллекту. основополагающие соображения на этот счет высказал в 1977 г. на 5-й Объединенной конференции по искусственному интеллекту американский ученый Э. Фейгенбаум.

Уже к середине 70-х годов появляются первые прикладные интеллектуальные системы, использующие различные способы представления знаний для решения задач – **экспертные системы**. Одной из первых была создана экспертная система **DENDRAL**, разработанная в Стэнфордском университете и предназначенная для порождения формул химических соединений на основе спектрального анализа.

Следующей была медицинская экспертная система **MYCIN**, предназначенная для диагностики и лечения инфекционных заболеваний крови. Геологическая экспертная система **PROSPECTOR** прогнозирует залежи полезных ископаемых: имеются сведения о том, что с ее помощью были открыты залежи молибдена, ценность которых превосходит 100 миллионов долларов. Экспертная система оценки качества воды, реализованная на основе российской технологии **SIMER+MIR** несколько лет назад, определила причины превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в Москве–реке в районе Серебряного Бора. Медицинская экспертная система **CASNET** предназначена для диагностики и выбора стратегии лечения глаукомы. Можно перечислить множество других известных экспертных систем.

## 5.1 Направления развития экспертных систем

В настоящее время разработка и реализация экспертных систем выделилась в самостоятельную инженерную область. Научные исследования сосредоточены в ряде направлений, некоторые из которых перечислены ниже.

**5.1.1 Представление знаний и моделирование рассуждений.** Это одно из наиболее сформировавшихся направлений искусственного интеллекта. Традиционно к нему относилась разработка формальных языков и программного обеспечения для отображения и описания **когнитивных структур**. К нему также причисляют исследования по **дескриптивной логике, логикам пространства и времени, онтологиям**. Пространственная логика позволяет описывать конфигурацию пространственных областей, объектов в пространстве; изучаются также семейства пространственных отношений. В последнее время эта область, из–за тесной связи с прикладными задачами, становится доминирующей. Например, для задач робототехники важно уметь по изображению некоторой сцены восстановить ее словесное описание, чтобы использовать его далее для планирования действий робота. Объектами дескриптивной логики являются **концепты** (в экспертных системах – базовые структуры для описания объектов) и связанные в единое целое **множества концептов** (агрегированные объекты). Дескриптивная логика вырабатывает методы работы с такими сложными концептами. Она может быть использована, кроме того, для построения компонентов базы знаний. Онтологические исследования посвящены способам концептуализации знаний и методологическим соображениям о разработке инструментальных средств анализа знаний. Различные способы представления знаний лежат в основе **моделирования рассуждений**, куда входят: моделирование рассуждений на основе прецедентов, аргументации или ограничений; и моделирование рассуждений с неопределенностью, действиями и изменениями, и др.

Рассмотрим некоторые из них.

**CBR**(*case-based reasoning*, моделирование рассуждений на основе прецедентов). Здесь главные проблемы – поиск алгоритмов адаптации, «фокусировка поиска» на использовании прошлого опыта, вывод, основанный на оценке сходства и технологии визуализации. Пусть заданы **прецеденты** как множество пар <СЛУЧАЙ, РЕШЕНИЕ>, множество зависимостей между различными атрибутами СЛУЧАЕВ и РЕШЕНИЙ, а также целевая проблема, которую нужно решить – ЦЕЛЬ. Для возникающей новой ситуации («нового случая») требуется найти пару <НОВЫЙ СЛУЧАЙ, ИСКОМОЕ РЕШЕНИЕ>, которая и решает целевую проблему.

Алгоритмы для таких задач основаны обычно на сравнении прецедентов с новым случаем, с использованием зависимостей между атрибутами случаев и атрибутами решения. Такие зависимости могут задаваться человеком при построении базы случаев, или обнаруживаться в базе случаев автоматически. При поиске решения для целевой проблемы выполняется адаптация уже имеющегося в базе прецедентов решения. Для этой адаптации и используются означенные зависимости.

Важной проблемой CBR является проблема выбора подходящего прецедента. Естественно искать подходящий прецедент в той области пространства поиска, где находятся решения сходных проблем. Но как определить, какие именно решения надо считать сходными? Существует гипотеза, что сходство проблем налагает ограничения на сходство соответствующих гипотез, в форме слабой связи между ними. Это обстоятельство и используется для ограничения области поиска решений. Пусть, например, речь идет о некотором клиенте, который (с супругой) желает две недели провести на Канарах и заплатить за это не более полутора тысяч долларов.

Первый вариант диалога с системой, не обладающей способностями к рассуждениям:

**Клиент:** здравствуйте, я хочу слетать в отпуск на две недели в июле на Канарские острова, со своей женой, но не могу заплатить более полутора тысяч долларов.

**Система:** извините, но такой возможности у нас нет.

**Клиент:** хорошо, но может быть, у вас найдется что-нибудь в близком регионе.

**Система:** не могли бы Вы уточнить, что Вы имеете в виду, говоря о близком регионе.

**Клиент:** я имею в виду побережье Испании.

**Система:** но это не близкий регион. Это более 1000 км от Канарских островов!

**Клиент:** но климат там похожий...

**Система:** извините, что Вы имеете в виду, говоря о климате...

Скорее всего, клиент обратится в другое турагентство.

Второй вариант диалога с системой, способной рассуждать:

**Клиент:** я хочу слетать в отпуск на две недели в июле на Канарские острова. Я бы хотел поехать со своей женой, но не могу заплатить более полутора тысяч долларов.

**Система:** такой возможности сейчас нет. Может, Вас устроит побережье Испании?

**Клиент:** а как насчет климата, он похож на Канарский климат?

**Система:** да, и, кроме того, билеты намного дешевле!

**Клиент:** отлично, забронируйте, пожалуйста.

Из этого, не очень серьезного, примера видно, что: а) во втором случае клиент имеет дело с системой, которая понимает, что хоть регион и не близок Канарам, но близок клиенту, во всяком случае, билет дешевле; б) так как клиент хочет поехать в июле, видимо, его интересуют морские купания и пляжи, а это есть как на Канарах, так и на побережье Испании. Из этого система делает вывод о сходстве ситуаций (описанной клиентом и имеющейся в базе) и на основании этого полагает, что решение «отдых в Испании» является близким решению «отдых на Канарах».

Методы CBR применяются во многих прикладных задачах – в медицине, управлении проектами, для анализа и реорганизации среды, для разработки товаров массового спроса с учетом предпочтений разных групп потребителей, и т.д.

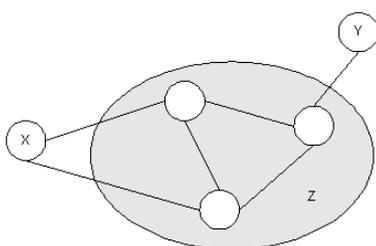
Следует ожидать приложений методов CBR для задач интеллектуального поиска информации, электронной коммерции (предложение товаров, создание виртуальных торговых агентств), планирования поведения в динамических средах, компоновки, конструирования, синтеза программ.

**Моделирование рассуждений на основе ограничений.** Наиболее интересны задачи моделирования рассуждений, основанных на процедурных динамических ограничениях. Они мотивированы сложными актуальными задачами – например, планированием в реальной обстановке. Под задачей удовлетворения ограничений понимается четверка множеств: множество переменных, множество соответствующих областей переменных, множество ограничений на переменные и множество отношений над областями. Решением проблемы удовлетворения ограничений называется набор значений переменных, удовлетворяющих ограничениям на переменные, такой, что при этом области, которым принадлежат эти значения, удовлетворяют отношениям над областями. Задача удовлетворения динамических ограничений – это последовательность задач удовлетворения ограничений, причём каждая последующая задача является ограничением предыдущей задачи. Эти задачи по смыслу близки задачам динамического программирования, так как они также связаны с интервальной алгеброй.

**Немонотонные модели рассуждений.** Сюда относятся исследования по логике умолчаний, по логике «отменяемых рассуждений», логике программ, теоретико-аргументационной характеристике логик с отменами, характеристике логик с отношениями предпочтения, построению эквивалентных множеств формул для логик с очерчиванием и др. Такие модели возникают при реализации индуктивных рассуждений, по примерам; связаны они также с задачами машинного обучения и некоторыми иными задачами. В задачах моделирования рассуждений на основе индукции источником первоначальных гипотез служат примеры. Если некоторая гипотеза  $H$  возникла на основе  $N$  положительных примеров (экспериментального характера), то никто не может дать гарантии, что в базе данных или в поле зрения алгоритма не окажется  $N+1$ -й пример, опровергающий гипотезу (или меняющий степень ее истинности). Это означает, что ревизии должны быть подвержены и все следствия гипотезы  $H$ .

**Рассуждения о действиях и изменениях.** Большая часть работ в этой области посвящена применению ситуационного исчисления – **формализма**, предложенного Джоном Маккарти в 1968 году для описания действий, рассуждений о них и эффектов действий. Для преобразования плана поведения робота в исполняемую программу, достигающую с некоторой вероятностью фиксированной цели, вводится специальное логическое исчисление, основанное на ситуационной логике. Для этой логики предложены варианты реализации на языке  $\text{rGOLOG}$  – версии языка  $\text{GOLOG}$ , содержащей средства для введения вероятностей. Активно исследуются логики действий, применение модальных логик для рассуждений о знаниях и действиях.

**Рассуждения с неопределенностью.** Сюда относится использование байесовского вероятностного формализма в системах правил и сетевых моделях. Байесовские сети – это вероятностный статистический метод обнаружения закономерностей в данных. Для этого используется первичная информация, содержащаяся либо в сетевых структурах, либо в базах данных. Под сетевыми структурами понимается в этом случае множество вершин и отношений на них, задаваемое с помощью ребер. Содержательно, ребра интерпретируются как причинные связи. Всякое множество вершин  $Z$ , представляющее все пути между некоторыми двумя иными вершинами  $X$  и  $Y$ , соответствует условной зависимости между этими двумя последними вершинами.



Далее задается некоторое распределение вероятностей на множестве переменных, соответствующих вершинам этого графа, и полученная, но минимизированная сеть, зываемая **байсовской сетью**. На такой сети можно использовать **байсовский вывод**, т.е. для вычисления вероятностей следствий событий можно использовать формулы рии вероятностей. Иногда рассматриваются гибридные байсовские сети, с вершинами которых связаны как дискретные, так и непрерывные переменные. Байсовские сети часто применяются для моделирования технических систем.

**5.1.2 Приобретение знаний, машинное обучение и автоматическое порождение гипотез.** Работы в области приобретения знаний интеллектуальными системами остаются важнейшим направлением теории и практики искусственного интеллекта. Целью этих работ является создание методологий, технологий и программных средств переноса знаний (компетентности), в базу знаний системы. При этом в качестве источников знаний выступают эксперты (высококвалифицированные специалисты предметных областей), тексты и данные, например, хранимые в базах данных.

Развиваются различные методы приобретения знаний. Машинному обучению в мире уделяется большое внимание. Существует множество алгоритмов машинного обучения. Один из алгоритмов этого класса C4.5 является алгоритмом декомпозиции и строит дерево решений. Исходной информацией для построения этого дерева является множество примеров. С каждой вершиной дерева ассоциируется наиболее часто встречающийся класс примеров. На следующем шаге этот принцип рекурсивно применяется к текущей вершине, т.е. множество примеров, связанных с текущей вершиной также разбивается на подклассы. Алгоритм завершает свою работу либо при удовлетворении некоторого критерия либо при исчерпании подклассов.

Активно исследуются **методы обучения причинам действий**. Иногда говорят о так называемой **теории действий**, имея в виду ситуационное исчисление в духе Джона МакКарти. В этой теории причины действий и сами действия описываются в виде **клаузальных структур**. Один из видов таких структур представляет собой импликацию, левая часть которой есть конъюнкция атомарных формул, а правая состоит из одной атомарной формулы. **Методы индуктивного логического программирования** модифицируются таким образом, чтобы быть применимыми к поиску таких структур. Когда такие структуры найдены, их можно использовать в языках логического программирования для рассуждений о действиях и их причинах. Многие работы этого направления посвящены «нейронной парадигме». Нейро–сетевой подход используется в огромном количестве задач – для кластеризации информации из Интернета, автоматической генерации локальных каталогов, представления образов в рекурсивных нейронных сетях. Среди активно изучаемых в последнее время тем – неоднородные нейронные модели с отношениями сходства. Это отношение сходства определяется на множестве входов и множестве состояний сети, а мерой сходства является скалярное произведение векторов либо эвклидово расстояние, где один вектор – это вектор входов, а другой распределение весов нейронов, описывающих текущую ситуацию. Работы по **автоматическому порождению гипотез** связаны с формализацией правдоподобных рассуждений, поиском зависимостей причинно-следственного типа между некоторыми сущностями. В качестве примеров можно привести порождение гипотез о свойствах химических соединений (прогноз биологических активностей), о возможных причинах дефектов (диагностика) и т.п.

**5.1.3 Интеллектуальный анализ данных и обработка образной информации.** Это новое направление, основу которого составляют две процедуры: обнаружение закономерностей в исходной информации и использование обнаруженных закономерностей для предсказания – прогнозирования. Сюда относятся задачи выбора информативных данных из большой их совокупности, выбора информативных характеристик некоторого объекта из более широкого множества его характеристик, задачи построения модели, позволяющие вычислять значения выбранных информативных характеристик по значениям других характеристик, и т.п. Значительную часть этого направления составляют исследования по распознаванию изображений с помощью нейронных сетей (включая *псевдооптические нейросети*). Изучаются методы распознавания последовательностей видеообразов на основе декларативного подхода и извлечения семантически значимой информации. К этому же направлению принадлежат исследования по графической технологии программирования в Интернете.

**Динамические интеллектуальные системы и планирование.** Это новое направление ИИ, изучающее интеллектуальные программные агенты.

**Интеллектуальный агент** – это программная система, обладающая:

- автономностью: агенты действуют без непосредственного участия человека и могут в некоторых пределах сами управлять своими действиями;
- социальными чертами: агенты взаимодействуют с другими агентами (и, возможно, человеком) посредством некоторого языка коммуникации;
- реактивностью: агенты воспринимают окружающую среду, которая может быть физическим миром, множеством других агентов, сетью Интернет или комбинацией всего этого, и реагируют на все ее изменения;
- активностью: агенты могут демонстрировать целенаправленное поведение, проявляя при этом собственную инициативу.

Основные задачи в этой области таковы: реализация переговоров интеллектуальных агентов и разработка языков для этой цели, координация поведения агентов, разработка архитектуры языка программирования агентов.

Агентские технологии появились примерно 6 – 7 лет назад. За это время интерес к этим технологиям переместился из сферы академических исследований в сферу коммерческих и промышленных приложений, а идеи и методы агентских технологий весьма быстро мигрировали из искусственного интеллекта в практику разработки программного обеспечения и другие вычислительные дисциплины.

**Планирование поведения искусственного интеллекта (ИИ – планирование)** – это способность интеллектуальной системы синтезировать последовательность действий для достижения желаемого целевого состояния. Работы по созданию эффективных методов такого синтеза активно ведутся уже около 30 лет. Планирование является основой интеллектуального управления, т. е. автоматического управления автономным целенаправленным поведением программно-технических систем. Среди методов ИИ-планирования сегодня выделяется: *классическое* планирование, т.е. планирование в условиях статической среды; *динамическое* планирование, т.е. планирование в условиях изменения среды и учета такого изменения; *иерархическое* планирование, т.е. когда действия абстрактного плана высокого уровня конкретизируются более детальными планами нижнего уровня, и *частично-упорядоченное (монотонное)* планирование, когда план строится на основе частично упорядоченного множества подпланов. При этом общий план (элементами которого являются подпланы) обязан быть монотонным, а каждый из подпланов может быть немонотонным.

**Монотонность** – это такое свойство плана, когда каждое его действие уменьшает различия между текущим состоянием и целью поведения. Например, если план движения робота к цели таков, что каждый его шаг приближает к цели, то план монотонен, но если он наткнулся при этом на препятствие и требуется его обойти, то монотонность плана нарушится. Однако если план обхода препятствия выделить в отдельный подплан и рассматривать его как **элемент исходного плана**, то монотонность последнего восстановится. Активно ведутся работы и в области распознавания планов, построения планировщиков и расширения их возможностей, эвристического планирования с ресурсными ограничениями, управления планированием посредством временной логики, планирования с использованием графов. Рассматриваются подходы к планированию, при которых построение текущих планов выполняется непрерывно для каждого состояния системы в реальном времени. Для этого предусмотрен непрерывный мониторинг объекта управления. Задачи планирования относятся в наше время к наиболее важным и перспективным направлениям в ИИ.

**Динамические интеллектуальные системы** – результат интеграции экспертных систем с системами имитационного моделирования. Это двухкомпонентные динамические модели, где один из компонентов – это база знаний, а другой – имеет континуальный характер. Разрабатываются методы выбора логики для описания временных зависимостей при построении динамических интеллектуальных систем. Работы в области **систем поддержки принятия решений** посвящены моделированию сложных технических систем, поиску решений в условиях чрезвычайных ситуаций, задачам проектирования систем управления техническими объектами, использованию вероятностных подходов и сценариев при принятии решений.

**5.1.4 Обработка естественного языка и пользовательский интерфейс.** Это направление связано с разработкой систем поддержки речевого общения, с решением проблем уточнения запроса, с задачами сегментации текстов по темам, с управлением диалогами, с анализом естественного языка и с использованием различных эвристик. Сюда же относится проблема **дискурса** (речевых процессов вместе с их результатами). Актуальны вопросы контекстного анализа текста, задачи приобретения интеллектуальными системами знаний и извлечения полезной информации из текстов.

Важнейшей задачей в процессе извлечения информации, как и в процессе приобретения знаний, является уменьшение роли эксперта как участника процесса. Причина этому – возрастание потоков текстовой информации, существующий социальный заказ на поиск информации по запросам, анализ и извлечение данных из текстов. Значение методов автоматического анализа текстов будет в дальнейшем возрастать. Предметом исследований является динамическое моделирование пользователя в системах электронной коммерции: представление запросов пользователя, создание адаптивного интерфейса, мониторинг и анализ поведения покупателя.

**Нечеткие модели и мягкие вычисления.** Это направление представлено нечеткими схемами логических выводов по методу аналогий и подходом к теории нечетких мер с вероятностных позиций. Сюда же входят: нечеткое представление геометрических объектов с помощью аналитических моделей; разработка алгоритмов эволюционного моделирования с динамическими параметрами – например, временем жизни и размером популяции; методы решения оптимизационных задач с использованием технологий генетического поиска, гомеостатических и синергетических принципов, а также элементов самоорганизации.

**5.1.5 Разработка инструментальных средств.** Это обширная сфера деятельности направления искусственного интеллекта, ставящая перед собой задачи:

а) создания программного обеспечения для приобретения знаний с целью автоматизированного переноса **компетентности** в базы знаний. В качестве источников компетентности могут выступать не только её носители – эксперты различных областей знаний, но и текстовые материалы – от учебников и энциклопедий до протоколов и архивов, а также базы данных (имплицитные источники знаний).

**Вербализация** (перевод таких источников в доступную для понимания форму) составляет содержание методов обнаружения знаний в массивах данных, и методов обучения на примерах (включая предварительную обработку данных для дальнейшего анализа);

б) реализации программных средств поддержки баз знаний;

в) реализации программных средств поддержки проектирования интеллектуальных систем. Набор таких средств содержит редактор текстов, редактор понятий, редактор концептуальных моделей, библиотеку моделей, систему приобретения знаний от экспертов, средства обучения на примерах и ряд других модулей.

## 5.2 Перспективные направления искусственного интеллекта

В настоящее время в ИИ можно выделить ряд направлений, которые в скором времени могут привести к качественным изменениям в технике и технологиях.

**Моделирование рассуждений, основанных на прецедентах (CBR)** – это один из наиболее перспективных подходов, который может привести к значительному прогрессу в области ИИ, причём прорыва можно ожидать уже в ближайшие несколько лет. Моделирование рассуждений **о пространстве** – не новая, но быстро развивающаяся сейчас область ИИ, имеющая возрастающее прикладное значение в связи с работами по созданию автономных мобильных устройств, анализу изображений (например, аэрофотоснимков и снимков из космоса), и задачами синтеза текстовых описаний по имеющимся изображениям. С помощью методов машинного обучения и автоматического формирования гипотез можно будет решить ряд полезных практических задач – от обнаружения закономерностей в данных до повышения степени адаптивности и **«уровня интеллекта»** различных технических устройств.

Подходы, основанные на технологии интеллектуальных агентов, наиболее перспективны при разработке больших программных продуктов, например, средств управления сложными распределёнными системами (к ним относятся, например, телекоммуникационные системы, распределённые производства, системы управления связью, войсками, транспортом, сетями, и т.д., а также распределённый поиск информации в Интернете). Это направление будет развиваться как отдельная научная дисциплина, оказывая решающее технологическое влияние на смежные области.

Большое влияние идей и методов ИИ наблюдается на машинный анализ текстов на естественном языке. Это относится к **семантическому анализу** и связанному с ним **синтаксическому анализу**, а также к **задачам компьютерного перевода**.

Второй канал связи ИИ и анализа текстов (АТ) – использование **алгоритмов самообучения**, с помощью анализа текстов и извлечения из них знаний, в робототехнике;

Третий канал – использование рассуждений на основе прецедентов, а также рассуждений на основе аргументации, для решения задач отсеивания лишней информации (т.е. уменьшения шума) и повышения степени соответствия найденных данных запросам пользователей (т.е. релевантности поиска).

Одно из наиболее важных и перспективных направлений в ИИ – задача автоматического **планирования поведения**. Область применения таких методов – различные устройства с высокой степенью автономности с целенаправленным поведением, от бытовой техники до беспилотных космических кораблей для исследования глубокого космоса. Это роботы, которые собирают грунт на Марсе и пылесосят квартиры на Земле, компьютеры, обыгрывающие людей в шахматы и самостоятельно паркующие автомобили. Чтобы подобные устройства выполняли задачи лучше человека или вместо него, инженеры и математики наделяют их интеллектом. Но назвать такой искусственный интеллект настоящим в полной мере нельзя. Все существующие на сегодняшний день роботы и программы обладают недостатком – они не могут самостоятельно адаптироваться к окружающему миру, так как это делают все живые существа.

Однако российские ученые, похоже, приблизились к разгадке тайны искусственного разума. Автоматизированная система управления, которую они разработали, может научить роботов этому живому свойству – **адаптации**. «Мы создали систему управления, которая воспроизводит основные свойства нервных систем, то есть это разумная система управления, это действительно интеллект, — рассказывает А. Жданов, проф., д. ф.–м. н., главный научный сотрудник Института точной механики и вычислительной техники имени С. А. Лебедева РАН. – Пусть она делает пока только простые вещи, но она построена так же, как и нервная система живых организмов». Возьмём лошадь – самое популярное транспортное средство до эпохи массового внедрения автомобилей. Даже сейчас, когда двигатели машин в 200 – 300 раз сильнее этих животных, люди продолжают пользоваться лошадьми. Почему? Возможно потому, что это одна из немногих **живых адаптивных систем**, которая сотрудничает с человеком и относится к нему с симпатией. Да, лошадь нужно обучать, воспитывать, но многие действия она совершает абсолютно самостоятельно и добровольно.

«У нас в клубе есть **пони** один старенький, дети на нем учатся заниматься конным спортом, участвуют в соревнованиях, – говорит Татьяна Кузнецова, инструктор КСК «БИТЦА». – Если даже ребенок забыл маршрут, наш пони обязательно повернет в ту сторону, в которую нужно бежать, и сам эту схему покажет, и отъедит ее без участия ребенка, если он растерялся. Вот они такие бывают умные лошадки».

Но и умные, интеллектуальные автомобили сегодня уже не роскошь, а средство передвижения. Адаптивная подвеска, адаптивный круиз – контроль, GPS–навигатор и т.д.: разработчики делают машины все более комфортными и безопасными. «Уже сегодня автомобиль чувствует манеру вождения водителя – под него подстраиваются коробка передач, двигатель, тормоза, и т.д., чтобы исключить случайности, – отмечает Сергей Стиллавин, автоэксперт, теле- и радиоведущий. – Например, машина понимает, что я за рулем – спокойный водитель, и если я вдруг, случайно, резко нажму на газ, то ничего не произойдет, потому что машина понимает: мы спокойно едем, и это просто ошибка. Если я буду нажимать на газ плавно, то машина уйдет вперед очень быстро». Таких умных функций в автомобиле может быть и десяток, и сотня, но нужно помнить, что каждая из них – это затратный и долгий труд специалистов по ИИ, электроников, которые должны заранее просчитать и прописать огромное количество математических алгоритмов, отображающих разные ситуации на дороге и действия водителя. Причем успех не гарантирован.

Однако есть альтернативный, менее дорогостоящий и более надежный вариант. При поддержке Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства города Москвы, в технопарке «Слава» разрабатываются новые интеллектуальные программы. На практике испытываются действия **адаптивной автоматизированной системы управления**. Разработчики уверены, что эта система позволит, в ближайшем будущем, тому же автомобилю учиться всему самостоятельно, а в нестандартной ситуации, благодаря искусственному интеллекту, спасти своего водителя.

«Это выживание обеспечивается правильным, грамотным, обоснованным управлением, которое строится на основе тех знаний, которые система уже накопила, – поясняет Александр Жданов. – Чем больше знаний у системы управления, у организма, у мозга, тем удачнее этот мозг управляет организмом, тем он лучше борется с какими-то агрессивными воздействиями окружающей среды, предвидит их и принимает правильные решения, которые обеспечивают его выживание».

Первый прототип создан компанией «Интеллект» совместно с учеными из Института точной механики и вычислительной техники. Этот робот – просто набор проводов, ультразвуковых дальномеров, видеокамер, гироскопа и подвески с шестью колесами. Но как только в базовый вычислитель робота загружают небольшую программу объемом всего в 500 килобайт, происходит технологическое чудо. Он оживает. «Сейчас база знаний системы управления полостью пуста. Можно сказать, что робот только что родился, – сообщает Роман Олесюк – научный сотрудник. – Сейчас он осуществляет пробные движения и будет учиться объезжать препятствия». Робот, словно маленький ребенок, делает пробные шаги и натывается на препятствие. В его базе знаний пока нет понятий, как этого избежать. Но уже через несколько мгновений, он понимает, что врезаться в стенку неприятно, и в следующий раз, когда он видит этот образ, то старается его объехать. «Этот процесс жизни робота отражен в программе: мы видим, как формируются образы вначале, как затем формируются знания, – рассказывает Александр Жданов. – Мы видим, как он принимает решение, и в результате на глазах этот маленький робот с искусственным интеллектом умнеет, в результате чего он со временем перестает натываться на препятствия вообще».

Чем такой самоадаптирующийся робот отличается, например, от робота – пылесоса? В пылесосе установлена так называемая **детерминированная** система управления. При столкновении с препятствием множество разных датчиков тут же дают ему команду – развернуться. Есть даже инфракрасные сенсоры, которые не позволяют ему упасть с лестницы. Но адаптироваться к пространству, и в следующий раз не врезаться в стены и не подъезжать к лестницам робот-пылесос не сможет.

«Если у обычного робота заклеить один из датчиков, то система управления работать не будет, – добавляет Роман Олесюк. – Если же у нашего робота вывести из строя один из датчиков, то его система управления сможет адаптироваться к новым условиям, и снова робот будет хорошо работать». Все – как у живого существа. Если человеку закрыть глаза, он со временем привыкнет обходиться без зрения. Для ориентации в пространстве у него останется множество других физиологических сенсоров, а главное для него – наличие памяти.

Как объясняет участник исследований, врач – невролог Кирилл Скоробогатых, адаптивные функции человека зависят от той модальности, к которой приходится адаптироваться. Если мы получаем новую информацию, которую необходимо запомнить, то ключевой структурой для запоминания является **гипокамп**.

В процессе адаптации память является ключевым феноменом. «У робота тоже есть свой гиппокамп: пока не такой большой, как у человека, и не такой развитый, но главную функцию он выполняет. Основным свойством нашей *самоадаптирующейся* системы управления является самообучение, – рассказывает Роман Олесюк. – Все накопленные ею знания могут быть использованы в следующих поколениях и роботов, и их интеллектуального программного обеспечения. Им не придется учиться заново».

На практике это будет выглядеть так: программист создает специальную адаптивную систему для вертолета, затем ее некоторое время, словно курсанта в летном училище, обучают азам пилотирования, сначала в лаборатории, затем на полигоне. После того, как программа «наберется опыта», ее загружают в бортовой компьютер настоящего летательного аппарата, и системе останется лишь адаптироваться к реальному пилоту и его стилю управления. Такая работа уже ведется в компании, участвующей в научном проекте. «Программа позволяет в автоматическом режиме управлять воздушными судами, – сообщает Юрий Мазур, руководитель группы научных разработок компании **BLASKOR**. – Алгоритм позволяет управлять судном с изменяющейся массой, и удерживать высоту при этом». В ходе испытания видно, что вертолет, с установленной адаптивной системой управления, без помощи оператора, самостоятельно выравнивает свое вертикальное положение. На привыкание к привязанному на опоры грузу уходит всего 15 секунд. Если система будет установлена на воздушных судах, то это позволит значительно сократить нагрузку на пилотов.

Почему профессор А. Жданов, создатель теории и разработчик этой адаптивной системы, считает ее интеллектуальной, разумной? Ведь любой выпускник физико-математического факультета может доходчиво объяснить, почему создание искусственного разума на современном этапе развития техники невозможно. Однако Жданову удалось обойти этот технологический барьер. Он вовсе не стремился скопировать человеческий мозг, так как это пока действительно невозможно. Он просто вложил в свой алгоритм аппарат эмоций. «Природа заложила в каждый живой организм стремление к получению положительных эмоций. Точно так же поступили и мы, заложив в нашу программу стремление робота к получению положительных оценок. Это является как бы критерием для выбора действий при принятии решений».

Создание искусственного разума ставит перед человечеством много вопросов: технических, философских и даже законодательных. Нам уже в ближайшие годы нужно будет разработать хартию об использовании искусственного интеллекта. В основу нужно положить три известных принципа Айзека Азимова: робот не может причинить вред человеку, робот обязан слушаться человека и его защищать.

Однако профессор Жданов в подобных ограничениях смысла не видит. Ведь человек не ставил лошадь или собаку в такие жесткие рамки, а просто приручил их. Если мы создаем искусственный организм, то мы должны сделать так, чтобы ему было приятно делать то, что полезно для нас – копать тоннель или траншею в земле, чтобы он испытывал от этого удовольствие, одновременно принося пользу нам. Совершенно не исключено, что мы тоже решаем чьи-то задачи, думая, что живем, как нам хочется.

Совсем скоро роботы избавят людей от тяжелого труда, сделают нашу жизнь безопасной и комфортной. Вопрос только в том, какими они будут – напичканные множеством разных и сложных программ, или всего с одной, создающей искусственный разум? Какая система победит в этой схватке технологий — детерминированная или адаптивная? Будущее покажет.

## Прогнозы на ближайшее будущее

Каждый из нас поражается каждый раз, когда новые компьютеры становятся более мощными и могут поддерживать больше функций. Только что они стали компактными, и снова делают следующий гигантский шаг. Мы наблюдаем, как компьютеры уменьшаются в размере, как размер микрочипов становится меньше и меньше. Теперь мы знаем, что можно уменьшить размер микрочипов до размера одного атома! Ниже приведены самые интересные достижения в компьютерных технологиях.

Сверхъестественный мир **квантовой механики** не подчиняется законам общей классической физики. Квантовый бит (qubit) не существует в типичных 0 или 1-бинарных формах сегодняшних компьютеров – квантовый бит может существовать в одной из них или же в обеих системах одновременно. Квантовые транзисторы дают возможность компьютеру работать в 1 000 000 000 раз быстрее, чем сегодняшние компьютеры! Компьютер будущего будет работать при 40 ТГц. Одновременно с существованием множества препятствий, которые необходимо преодолеть, каждый день открываются новые методики и совершаются новые открытия. **Квантовые компьютеры** могут стать действительностью в течение всего нескольких лет.

Оптические компьютеры в работе своей используют скорость света, а не скорость электричества, что делает их лучшими проводниками данных. Электричество работает со скоростью, приблизительно равной 1/10 скорости света, но **оптические** или **фотонные** транзисторы смогут работать в тысячи раз быстрее, чем сегодняшние компьютеры. Сегодня распространены оптоволоконные кабели, но скоро оптика будет использоваться в качестве компьютерных выключателей. Отдельные фотоны могут быть направлены на создание выключателя (типа ВКЛ/ВЫКЛ), используемого в транзисторах. В отличие от электричества, световые лучи могут пересекать друг друга (проходить сквозь друг друга), устраняя необходимость использования больших систем традиционной электропроводки. Это позволит оптическому компьютеру быть такого размера, какой необходим для какой-либо определённой задачи.

**Новый жёсткий диск (Nanodot Storage)** может быть в 50 миллимикрон шириной и располагать северным и южным полюсами. Он может реагировать на наружные изменения, что делает его главным кандидатом на роль запоминающего устройства. Сегодняшние исследования показали, что объём дисков **Nanodot** может в 100 раз превышать вместимость существующих на сегодняшний день жёстких дисков, при этом занимая намного меньше пространства. Nanodot Storage уже совсем близко, и он произведёт революцию в сфере сегодняшнего хранения информации.

**Спиновая электроника (спинтроника)** – другой невероятно многообещающий тип устройства хранения информации. Настоящая память компьютеров имеет ограничения в том, что производственные процессы приближаются к пределам размеров транзисторов. Помимо этого, оперативная память компьютера (резерв временной памяти) теряет информацию при выключении компьютера. Сейчас же, когда мы можем рассматривать вещи с квантового уровня, появляются новые возможности. Спинтроника измеряет вращение электрона. Даже когда компьютер выключен, информация, содержащаяся во временной памяти, не теряется. Память **Spintronics** работает всего с несколькими атомами, находящимися на поверхности, созданной нелинейной газовой средой (арсенид галлия или индия), являющейся перспективным новым материалом.

**Нанотрубки и графен.** Сегодняшние компьютерные чипы располагаются на кремниевой подложке, но компьютер будущего будет использовать для этих целей нанотрубки. Толщина графеновых листов – всего один атом, а нанотрубки – это скатанный в трубочку графеновый лист с диаметром всего в один миллимикрон. Их считают будущим в развитии транзисторов. Эти структуры имеют уникальные свойства.

**Баллистические технологии.** Баллистический транзистор преломляет близлежащие атомы и представляет собой новый тип компьютерных транзисторов. Этот атомный транзистор может работать на терагерцевых скоростях, в тысячу раз быстрее любого сегодняшнего компьютера. Чипы, сделанные при помощи этой технологии, просты в производстве и могут стать следующей волной компьютерных технологий.

**Технологическая сингулярность.** «В течение ближайших тридцати лет у нас появится техническая возможность создать сверхчеловеческий интеллект. Вскоре после этого человеческая эпоха будет завершена». *Технологическая сингулярность* – предполагаемая точка в будущем, когда эволюция человеческого разума в результате развития нанотехнологии, биотехнологий и искусственного интеллекта ускорится до такой степени, что дальнейшие изменения приведут к возникновению разума с намного более высоким уровнем быстрой реакции и новым качеством мышления. По мнению некоторых авторов, придерживающихся этой теории, технологическая сингулярность может наступить примерно к 2030 году. Однако её наступление не означает конца истории, скорее наоборот – будет окончена Предыстория человечества, и положено начало настоящей его Истории. Есть гипотеза, что явно выраженной точки сингулярности, с острым кризисом, не будет. Развитие идет по S-образной кривой, и уже в ближайшее время начнется торможение. *А точка сингулярности* — это такая точка на графике развития, в которой её скорость максимальна – в середине S-образной кривой.

**Искусственный интеллект** будет создан людьми или самозародится в сети (**может произойти эмергентная эволюция**). Он будет иметь следующие преимущества над интеллектом современного человека:

1. Скорость распространения сигналов между нейронами — 100 м/с, а между микросхемами — 300 000 км/с (скорость света), при этом и время срабатывания у нейронов мозга человека примерно в миллиард раз меньше по сравнению с кремниевыми элементами (на сегодня) и этот разрыв продолжает нарастать;
2. Количество нейронов в мозгу человека ~ 10 млрд., у ИИ - без ограничений;
3. Срок функционирования ИИ скорее всего соизмерим со сроком жизни звезды (миллиарды лет), в частности, например, вследствие возможного переписывания «души» — программы ИИ из одной электронной среды в другую;
4. При управлении цивилизацией не будет сказываться «человеческий фактор» (у любого человека есть недостатки, а также, непонимание приоритетов развития);
5. *Вживляемость* ИИ в компьютерные сети, всё более опутывающие планету (то есть мгновенная одновременная обработка и управление миллиардами каналов).

В последние десятилетия в мире развивается новая прикладная область ИИ, специализирующаяся на **искусственных нейронных сетях**. Нейросети оказались эффективными для предсказания временных последовательностей (курс валют или котировки акций), для анализа и оценки рисков, предсказания электропотребления жилищными массивами городов. Помимо инвестиционных задач, искусственные нейронные сети начали широко использоваться в медицинской диагностике. Ведется интенсивное исследование и применение нейрокомпьютерной технологии при создании военной техники. После обучения нейронная сеть становится моделью, которую можно применить к новым данным с целью прогнозирования.

## Темы рефератов для самостоятельной исследовательской работы

1. Фундаментальные исследования как научная основа высокотехнологичной продукции.
2. Научные вопросы, требующие экспериментов на Большом адронном коллайдере.
3. Перспективы применения нанотехнологий в различных отраслях промышленности.
4. Наноматериалы и их возможности в различных отраслях промышленности.
5. Нанотехнологии в современном искусстве – литературе, кино, графике, скульптуре.
6. Влияние процесса информатизации на жизнь современного общества.
7. Фундаментальность информатики и взаимодействие с другими отраслями науки.
8. Проблема информационной безопасности и способы её достижения.
9. Компьютерная преступность, её разновидности и средства борьбы с нею.
10. Биологическая информатика и перспективы создания биологических компьютеров.
11. Математическая информатика и перспективы создания интеллектуальных систем.
12. Химическая информатика и перспективы создания молекулярных компьютеров.
13. Физическая информатика и информационный подход исследования мироздания.
14. Проблемы создания элементной базы для вычислительной системы будущего.
15. Использование нанотехнологий в производстве компьютеров новых поколений.
16. Нейронные компьютеры как эффективная система искусственного интеллекта.
17. Квантовые компьютеры и перспективы квантово-криптографических систем.
18. Оптические и фотонные компьютеры. Передача информации со скоростью света.
19. Вероятностные процессоры, их «байесовская» логика и новая архитектура.
20. Биологические компьютеры и их разновидности: ДНК и клеточные компьютеры.
21. Развитие искусственного интеллекта и электроники. Тест Алана Тьюринга.
22. Задачи машинного обучения, машинного зрения и манипулирования объектами.
23. Системы искусственного интеллекта, способные пройти тест Тьюринга.
24. Экспертные системы как разновидность систем ИИ, и направления их развития.
25. Представление знаний и моделирование рассуждений как направление ИИ.
26. Самообучение и автоматическое порождение гипотез как направление ИИ.
27. Интеллектуальный анализ данных и обработка образной (фреймовой) информации.
28. Перспективные направления развития систем искусственного интеллекта.
29. Разработки российских учёных по созданию систем искусственного интеллекта.
30. Адаптивные автоматизированные системы управления как одно из направлений ИИ.
31. Философские и мировоззренческие вопросы, возникающие с развитием ИИ.
32. Прогнозы развития компьютерной техники на ближайшие десятилетия.
33. Прогнозы развития нанотехнологий на ближайшие десятилетия XXI века.
34. Прогнозы развития искусственного интеллекта и робототехники на ближайшее время.
35. Технологическая сингулярность как точка перехода эволюции человечества, в результате развития искусственного интеллекта, нано- и биотехнологий к сверхразуму.

## Контрольные вопросы по изучаемому курсу

1. Объясните понятие фундаментальной науки и её отличия от прикладной науки.
2. Какие направления развития фундаментальной науки являются приоритетными для нашей страны? Объясните понятие критических технологий.
3. Почему физические исследования в Большом адронном коллайдере (БАК) столь важны для развития нанотехнологий, наноэлектроники и наноматериалов?
4. С какой целью был построен Большой адронный коллайдер? Почему он так назван?
5. Что представляет собой *бозон Хиггса*? Почему столь важно его обнаружение?
6. Каким образом Большой адронный коллайдер сможет проверить истинность новейших физических теорий многомерного устройства Вселенной?
7. Расскажите о построении БАК и его технических характеристиках.
8. Безопасен ли БАК для человечества? Какие опасения он вызывает? Оправданы ли они?
9. Какие научные результаты уже получены на Большом адронном коллайдере?
10. Что представляют собой нанотехнологии и почему они так названы?
11. Расскажите об истории возникновения нанотехнологий. Кто является автором идеи?
12. Как будет осуществляться сборка нанообъектов? Как будут работать нанороботы?
13. На основе каких фундаментальных наук основаны и развиваются нанотехнологии?
14. Что представляют собой наночастицы? Нанообъекты? Нанокompозиты?
15. Расскажите о новейших достижениях во всех областях создания наноматериалов.
16. Какими методами проводится исследования в области нанотехнологий?
17. Перечислите прорывные технологии в области наноэлектроники и нанокompьютеров.
18. Расскажите об индустрии нанотехнологий. Почему у определённой части общества возникают опасения социальных последствий и негативное отношение к ним?
19. Как нанотехнологии отображаются в современном искусстве – книгах и фильмах?
20. Расскажите о *Нанотехнологическом обществе России* и выставках РосНАНО.
21. Почему информатика является фундаментальной наукой, охватывающей все науки?
22. Расскажите о социальной информатике как науке, изучающей социальные последствия информатизации общества и их воздействие на человека.
23. Что представляют собой информационные ресурсы общества? Национальные информационные ресурсы страны? Почему они являются стратегическими ресурсами?
24. Что такое информационная среда общества? Его информационный потенциал?
25. Объясните понятие «*Информационный образ жизни общества*».
26. Расскажите о мозаичной (сотовой, сетевой) структуре информационного общества.
27. Что представляет собой проблема «*атомизации*» современного общества.
28. Что нужно для создания информационного комфорта личности?
29. Объясните понятия *информационной культуры* и *информационной грамотности*.
30. Что такое *информационная* и *информационно – психологическая безопасность*?
31. Расскажите о компьютерной преступности как социальном явлении.
32. Что такое компьютерофобия, компьютеромания, игромания? Как с ними бороться?
33. Расскажите о хакерах, кракерах, фрикерах. Почему возникают такие явления?
34. Расскажите о биологической информатике как стыке трёх фундаментальных наук.
35. Что такое *геномная революция*? Биологические информационные процессы?
36. Что изучает вычислительная эволюционная биология как отрасль биоинформатики?

Проблемы современной фундаментальной науки

37. Как проводится анализ генетических последовательностей? Анализ геномов?
38. Что изучает математическая информатика? Кто впервые ввёл этот термин?
39. Объясните понятия *классической* и *неклассической* математики XX века.
40. Объясните принципы абсолютного и информационного задания точки.
41. Как проводится математическое моделирование искусственного интеллекта?
42. Что такое *ультраоператоры* как основа математической информатики?
43. Объясните понятие *ультрасистемы* как объекта, принимающего решения.
44. Расскажите, какая информация является *семантической* (*смысловой*).
45. Какая система является *интеллектуальной*? Приведите примеры подобных систем.
46. Что является испытательным стендом – датчиком? Носителем информации? Интеллектуальным датчиком? Интеллектуальным исполнителем? Накопителем данных?
47. Объясните понятие *экспертной системы* как сети базовых интеллектуальных систем.
48. Что представляет собой *система управления*? *Сложная система управления*?
49. Методологические принципы математической информатики – *информационный принцип, принцип системности, принцип отражения, структурный принцип*.
50. Что изучает *химическая информатика* – *хеминформатика*? Кто ввёл этот термин?
51. Что изучает *математическая химия*? *Хемогеномика*? *Хеометрика*?
52. Перечислите задачи *химической информатики* по созданию *наноматериалов*.
53. Что изучает *физическая информатика*? Как в ней определено понятие информации?
54. Что такое «*информационная энтропия*» как мера физической неоднородности.
55. Назовите фундаментальные результаты, полученные физической информатикой.
56. Перечислите актуальные задачи, над которыми работает физическая информатика.
57. Сформулируйте знаменитый закон *Гордона Мура, выполняющийся почти 50 лет*.
58. Какие ограничения на выполнение закона Мура возникают в настоящее время?
59. Расскажите о проблеме приближения к пределу быстрогодействия.
60. Какие варианты создания *вычислительных систем будущего* существуют сейчас?
61. Перечислите, в каких направлениях проводятся исследования по созданию компьютеров новых поколений, и какие экспериментальные разработки уже существуют?
62. Расскажите о *молекулярной электронике* (*молетронике*) и перспективах создания молекулярных компьютеров. Кто создал это научное направление?
63. Расскажите о нанокomпьютерах, создаваемых на элементной базе нанотехнологий.
64. Объясните принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ)?
65. Расскажите о нейронных компьютерах (нейрокомпьютерах), моделирующих работу мозга живых организмов, – одном из направлений искусственного интеллекта.
66. Кто создал теорию *персептронов искусственной нейронной сети*?
67. Каков принцип работы квантовых компьютеров? Что такое кубит?
68. Как работают квантово–криптографические системы?
69. Перспективы использования оптических и фотонных компьютеров как устройств обработки информации с помощью света, световых волн и со скоростью света.
70. Перечислите оптические компоненты и устройств современных компьютеров.
71. Охарактеризуйте современный компьютер как оптоэлектронное устройство.
72. Расскажите о вероятностном компьютере и процессоре с *байесовской логикой*.
73. Объясните принципы работы и назначение биологических компьютеров.
74. Расскажите о принципах работы ДНК–компьютеров и клеточных компьютеров.
75. Что является элементной базой биологических (ДНК- и клеточных) компьютеров?
76. Как работают биоэлектронные схемы? Какие нанокomпоненты нужны для этого?

Проблемы современной фундаментальной науки

77. Почему наш мозг служит примером биологического компьютера, а клетки нашего организма – примером клеточных компьютеров молекулярного размера?
78. Какой прорыв в медицине можно осуществить с помощью биологических молекулярных (ДНК-, генетических и клеточных) нанокomпьютеров?
79. Какой интеллект можно назвать искусственным? В чём состоит тест Тьюринга?
80. Что включает в себя искусственный интеллект как научное направление?
81. Расскажите о научном направлении, связанном с разработкой интеллектуальных электронных устройств – *интеллектуальной электронике (интеллектронике)*.
82. Когда искусственный интеллект сможет достичь уровня естественного разума?
83. Объясните, что представляет собой машинное обучение? Машинное зрение? Машинное манипулирование объектами и перемещение их в пространстве?
84. Расскажите о разработках, вплотную приблизившихся к созданию искусственного интеллекта. Почему программные игровые боты могут преодолеть тест Тьюринга?
85. Почему при создании интеллектуальных роботов так важна наука *когнитивная психология, которую в фантастических фильмах называют роботпсихология?*
86. Как появилось новое направление информатики – искусственный интеллект?
87. Какие языки программирования искусственного интеллекта Вы можете назвать?
88. Почему математические игры так важны для обучения интеллектуальных систем?
89. Расскажите об экспертных системах, как направлении искусственного интеллекта.
90. В каких отраслях народного хозяйства применяются экспертные системы?
91. Расскажите о направлении искусственного интеллекта, связанном с представлением знаний и моделированием рассуждений интеллектуальной системы.
92. Опишите задачи приобретения знаний, машинного обучения и автоматического порождения гипотез, решение которых необходимо для систем ИИ.
93. Как в системе ИИ проводится интеллектуальный анализ данных и обработка образов?
94. Как проводится динамическое планирование поведения искусственного интеллекта?
95. Как система ИИ обрабатывает естественный человеческий язык и проводит речевое общение с человеком? Как устроен пользовательский интерфейс с системой ИИ?
96. Расскажите, как разрабатывается программное обеспечение для *базы знаний*.
97. Перечислите перспективные направления искусственного интеллекта.
98. Как проводится моделирование рассуждений, основанных на прецедентах?
99. Как решается задача компьютерного перевода и обработки текстов методами ИИ?
100. Расскажите об алгоритмах самообучения интеллектуальных систем в робототехнике.
101. Как работают *адаптивные автоматизированные системы управления?*
102. Расскажите о разработках российских учёных в области адаптивных систем ИИ.
103. Что представляют собой самоадаптирующиеся самообучающиеся системы?
104. Какие вопросы философского, технического и законодательного характера ставит перед человечеством создание искусственного разума?
105. Расскажите о прогнозах развития фундаментальной науки на ближайшее будущее.
106. Что может принести человечеству создание *квантовых и оптических* компьютеров?
107. Каковы проекты создания новых жёстких дисков для компьютеров будущего?
108. Расскажите о спиновой электронике и её невероятных возможностях.
109. Расскажите о *графене и графеновых нанотрубках* – наноматериале будущего.
110. Что такое *технологическая сингулярность* и что она принесёт человечеству?
111. Как может произойти *эмергентная эволюция искусственного разума?*

## Тестовые задания по изучаемому курсу

### 1. В чём состоит коренное отличие фундаментальной науки от прикладной науки?

Варианты ответа:

- а) требуется проведение основательных, длительных, качественных *экспериментов*.
- б) требуется скорая и неременная *реализация* на практике результатов исследований.
- в) не требуется скорая *окупаемость* и *экономический эффект* от результатов исследований.
- г) требуется проведение исследований *на перспективу*, на десятилетия и на века вперёд.
- д) требуются большие *капиталовложения* государства для достижения результатов.

Правильные ответы – в), г).

### 2. Какие направления российской науки сегодня являются приоритетными?

Варианты ответа:

- а) информационно–телекоммуникационные технологии.
- б) нанотехнологии, наноматериалы и индустрия наносистем.
- в) авиация, ракетостроение и космические технологии.
- г) поддержание живых систем и охрана природы (экология).
- д) фундаментальные вопросы мироздания.

Правильные ответы – а), б), в).

### 3. Какие направления российской науки вошли в перечень критических технологий?

Варианты ответа:

- а) создание российской элементной базы современной радиоэлектроники, независимой от желания / нежелания иностранных государств поставлять их России.
- б) новые композитные материалы, в том числе наноматериалы, и химические продукты.
- в) технологии поддержания экологических и биологических живых систем.
- г) технологии генной инженерии по выращиванию продукции сельского хозяйства.
- д) новые отечественные ракетно–космические и авиационные технологии.

Правильные ответы – а), б), д).

#### 4. Каковы научные цели создания Большого адронного коллайдера?

Варианты ответа:

- а) создание общей *теории квантовой гравитации* для развития физики будущего.
- б) экспериментальное подтверждение *новых физических многомерных теорий*.
- в) экспериментальное подтверждение наличия *суперсимметрии* (в *теории суперструн*).
- г) экспериментальное доказательство и поиск существования *бозона Хиггса*.
- д) изучение *фотон–адронных и фотон–фотонных* столкновения элементарных частиц.

Правильные ответы – б), в), г), д).

#### 5. Какое определение нанотехнологий является наиболее правильным?

Варианты ответа:

- а) управление *процессами масштаба менее 100 нм* в одном или более измерениях.
- б) ввод в действие *явления размерного эффекта*, что приводит к новым применениям.
- в) использование свойств и объектов и материалов в нанометровом масштабе.
- г) возможность *контролируемым образом создавать и модифицировать объекты и их компоненты размерами менее 100 нм*, хотя бы в одном измерении.
- д) создание *более совершенных материалов, приборов и систем* размерами менее 100 нм.

Правильный ответ – г).

#### 6. Кому принадлежит обоснование идеи возможности создания нанотехнологий?

Варианты ответа:

- а) прославленному английскому физика *Исааку Ньютону*.
- б) знаменитому американскому физика *Ричарду Фейнману*.
- в) уважаемому японскому физика *Норио Танигути*.
- г) известному американскому физика *Эриху Дрекслеру*.
- д) популярному польскому писателю–фантасту *Станиславу Лему*.

Правильный ответ – б).

**7. Кто из писателей впервые описал в литературе создание нанотехнологий?**

Варианты ответа:

- а) известный американский писатель-фантаст *Майкл Крайтон* в романе «Рой».
- б) популярный советский писатель *Борис Житков* в рассказе «Микроруки».
- в) славный русский писатель *Николай Лесков* в известной сказке «Левша».
- г) известный русский писатель-фантаст *Сергей Лукьяненко* в повести «Нечего делить».
- д) знаменитый польский писатель-фантаст *Станислав Лем*, в фантастических произведениях «Мир на земле», «Непобедимый», «Осмотр на месте».

Правильный ответ – в).

**8. Какие аспекты информационного общества изучает социальная информатика?**

Варианты ответа:

- а) воздействие процессов информатизации на *мировоззрение человеческой личности*.
- б) технические вопросы *построения вычислительных систем и компьютерных сетей*.
- в) социальные последствия и *качественные изменения* в информационном обществе.
- г) феномены и процессы, в которых появляется *гибридный интеллект*, с тенденцией объединения информатизации общества и гуманизации техники в единую систему.
- д) вопросы формирования компьютерной грамотности и информационной культуры.

Правильный ответ – а), в), г).

**9. Какие виды социальной девиации (отклонений от нормы) в поведении людей порождают процессы информатизация современного общества?**

Варианты ответа:

- а) *компьютерофобия*, как отчуждение некоторых групп людей от компьютеров.
- б) *психологические проблемы*, как страх за свою информационную безопасность.
- в) *компьютерная игромания* (у молодёжи), как *уход в виртуальную реальность*.
- г) *компьютеромания*, как приоритет общения с компьютером, а не с людьми.
- д) *компьютерные правонарушения и компьютерная преступность*.

Правильный ответ – а), в), г), д).

**10. Как современная «компьютерная» молодежь воспринимает образ *хакера*?**

Варианты ответа:

- а) *хакеры* – это компьютерные пираты и взломщики, преступники, подлежащие аресту.
- б) *хакеры* – это квалифицированные программисты, трудоголики, фанатики, занимающиеся доскональным изучением тонких мест в работе вычислительных систем с целью расширения их возможностей и устранения «*брешей*» в их безопасности.
- в) *хакеры* – это сливки компьютерного сообщества, люди, прекрасно разбирающиеся в тонкостях работы компьютера, классные системные программисты – профессионалы.
- г) *хакеры* – это представители определенной социальной группы, некой *компьютерной субкультуры*, нетрадиционно реализующей себя в условиях новой информационной реальности, т.е. носители определенного *информационного стиля жизни*.
- д) *хакеры* – специалисты, которые выполняют полезную функцию, они – своеобразные компьютерные санитары. Если всех хакеров арестовать, то «*дырки*» в программном обеспечении всё равно останутся, но исправлять их будет уже некому. В нынешнюю эпоху информационных войн хакеры могут послужить на благо государства.

Правильный ответ – б), в), г), д).

**11. Каковы основные задачи и научные направления биологической информатики?**

Варианты ответа:

- а) изучение информационных процессов, происходящих в *биотических системах*.
- б) применение методов прикладной математики и статистики для *биологических задач*.
- в) алгоритмы и программы для исследования *пространственной структуры белков*.
- г) математические методы для компьютерного анализа в *сравнительной геномике*.
- д) применение вычислительных методов для понимания *биологических процессов*.

Правильный ответ – а), в), г), д).

**12. Что изучает наука *вычислительная эволюционная биология*?**

Варианты ответа:

- а) информационные методы исследования *эволюции* большого числа *организмов*.
- б) *происхождение* и *появление видов*, их *развитие (эволюцию)* с течением времени.
- в) компьютерное моделирование *популяций живых организмов* при изучении *биосистем*.
- г) сравнение *геномов* для исследования *комплексных эволюционных процессов*.
- д) создание *генетических алгоритмов* для решения *биологических* и других задач.

Правильный ответ – а), в), г).

**13. Каковы основные задачи и направления математической информатики?**

Варианты ответа:

- а) исследование и реализация *интеллектуальных систем различного назначения*.
- б) единый информационный подход ко всем разделам *неклассической математики*.
- в) создание *теории ультраоператоров*, как основы для всех *компьютерных наук*.
- г) разработка *автоматизированных интеллектуальных и экспертных систем*.
- д) применение математических методов к созданию алгоритмов и программ для ЭВМ.

Правильный ответ – а), б), в), г).

**14. Какие из перечисленных интеллектуальных систем являются ультрасистемой?**

Варианты ответа:

- а) студент, решающий задачу.
- б) конструкторское бюро, разрабатывающее новый самолёт.
- в) библиотекарь, выдающий книгу читателю.
- г) программист, проектирующий новый Web–сайт.
- д) бригада строителей, строящая новый дом.
- е) автомеханик, ремонтирующий автомобиль.

Правильный ответ – а), б), г), д), е).

**15. Назовите методологические принципы математической информатики.**

Варианты ответа:

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| а) информационный принцип. | г) принцип отражения.   |
| б) принцип эмерджентности. | д) структурный принцип. |
| в) принцип системности.    | е) принцип целостности. |

Правильный ответ – а), в), г), д).

**16. Каковы основные задачи и направления химической информатики?**

Варианты ответа:

- а) прогнозирование химических свойств молекул различных веществ.
- б) моделирование свойств новых разрабатываемых наноматериалов.
- в) разработка новых фармакологических (лекарственных) препаратов.
- г) токсикологическая и биологическая активность разрабатываемых материалов.
- д) молекулярный дизайн химических соединений с заданными свойствами.

Правильный ответ – а), в), г), д).

**17. Какие научные направления входят в состав химической информатики?**

Варианты ответа:

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| а) химическая генетика.  | г) молекулярный дизайн. |
| б) аналитическая химия.  | д) химическая генетика. |
| в) математическая химия. | е) теоретическая химия. |

Правильный ответ – а), г), д).

**18. Какие химические задачи нельзя решить без информационных методов?**

Варианты ответа:

- а) прогнозирование свойств разрабатываемых химических соединений и материалов.
- б) визуализация и исследование химического пространства и новых материалов.
- в) молекулярный дизайн новых химических соединений с заданными свойствами.
- г) автоматизированный просмотр базы данных химических соединений.
- д) компьютерный синтез новых органических соединений.

Правильный ответ – б), г), д).

**19. Каковы основные задачи и направления физической информатики?**

Варианты ответа:

- а) разработка информационных методов исследования физических систем.
- б) вывод из законов информатики основных физических законов.
- в) развитие и уточнение законов информатики применительно к законам физики.
- г) оценка информационных характеристик в системах различной природы.
- д) исследование расширения Вселенной как источника формирования информации.
- е) исследование информационных основ теории квантовой гравитации.

Правильный ответ – а), в), г).

**20. Закон Гордона Мура о развитии микроэлектроники, гласит, что:**

Варианты ответа:

- а) количество транзисторов на одной микросхеме будет ежемесячно удваиваться.
- б) количество транзисторов на одной микросхеме будет ежемесячно утраиваться.
- в) количество транзисторов на одной микросхеме будет ежегодно удваиваться.
- г) количество транзисторов на одной микросхеме будет утраиваться каждые 2 года.
- д) количество транзисторов на одной микросхеме будет удваиваться каждые 3 года.

Правильный ответ – в).

**21. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает самообучение интеллектуальной системы?**

Варианты ответа:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| а) молекулярные компьютеры. | г) вероятностные компьютеры. |
| б) квантовые компьютеры.    | д) нейронные компьютеры.     |
| в) оптические компьютеры.   | е) биологические компьютеры. |

Правильный ответ – д).

**22. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает возможность параллельных вычислений?**

Варианты ответа:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| а) молекулярные компьютеры. | г) вероятностные компьютеры. |
| б) квантовые компьютеры.    | д) нейронные компьютеры.     |
| в) оптические компьютеры.   | е) биологические компьютеры. |

Правильный ответ – б).

**23. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает возможность применения байесовской логики?**

Варианты ответа:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| а) молекулярные компьютеры. | г) вероятностные компьютеры. |
| б) квантовые компьютеры.    | д) нейронные компьютеры.     |
| в) оптические компьютеры.   | е) биологические компьютеры. |

Правильный ответ – г).

**24. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает необходимость применения нанороботов – сборщиков?**

Варианты ответа:

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| а) биологические компьютеры. | г) вероятностные компьютеры. |
| б) квантовые компьютеры.     | д) нейронные компьютеры.     |
| в) оптические компьютеры.    | е) нанокomпьютеры.           |

Правильный ответ – а).

**25. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает, что можно построить транзистор, состоящий из 1 молекулы?**

Варианты ответа:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| а) нанокomпьютеры.          | г) вероятностные компьютеры. |
| б) квантовые компьютеры.    | д) нейронные компьютеры.     |
| в) молекулярные компьютеры. | е) биологические компьютеры. |

Правильный ответ – в).

**26. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает, что можно обрабатывать информацию со скоростью света?**

Варианты ответа:

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| а) нанокomпьютеры.          | г) оптические и фотонные компьютеры. |
| б) квантовые компьютеры.    | д) нейронные компьютеры.             |
| в) молекулярные компьютеры. | е) биологические компьютеры.         |

Правильный ответ – г).

**27. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает, что можно встраивать геном бактерий в логические схемы?**

Варианты ответа:

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| а) ДНК – компьютеры.     | г) генетические компьютеры.  |
| б) квантовые компьютеры. | д) нейронные компьютеры.     |
| в) клеточные компьютеры. | е) биологические компьютеры. |

Правильный ответ – в).

**28. Какой вид разрабатываемой вычислительной техники новых поколений предполагает, что можно, используя ДНК, решать логические выражения?**

Варианты ответа:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| а) генетические компьютеры. | г) клеточные компьютеры.     |
| б) ДНК–компьютеры.          | д) нейронные компьютеры.     |
| в) молекулярные компьютеры. | е) биологические компьютеры. |

Правильный ответ – б)

**29. Когда можно сказать, что искусственный интеллект прошел тест Тьюринга?**

Варианты ответа:

- а) когда невозможно будет отличить поведение объекта ИИ от поведения человека.
- б) человек–экспериментатор не сможет отличить ответы ИИ от ответов человека.
- в) человек – экспериментатор не сможет внешне отличить работа с ИИ от человека.
- г) стихи или картины, написанные ИИ, нельзя будет отличить от произведений человека.
- д) ИИ превзойдет человека в интеллектуальных играх, например, в шахматы.

Правильный ответ – б).

**30. Какие интеллектуальные устройства способны преодолеть тест Тьюринга?**

Варианты ответа:

- а) системы ИИ, обладающие машинным зрением.
- б) системы ИИ, обладающие возможностями отвечать на поставленные вопросы.
- в) системы ИИ, способные разрабатывать новые поведенческие алгоритмы.
- г) системы ИИ, являющиеся копией носителя естественного интеллекта.
- д) системы ИИ, являющиеся программными боты для компьютерной игры.

Правильный ответ – д).

**31. Что представляет собой искусственный интеллект?**

Варианты ответа:

- а) одна из разновидностей компьютерных наук.
- б) одна из разновидностей информационных технологий.
- в) одна из отраслей робототехники с программным управлением.
- г) компьютерная программа, моделирующая рассуждения человека.
- д) одна из экспериментальных наук, ориентированная на сравнение решения задач человеком, с естественным интеллектом, и системы с искусственным интеллектом.

Правильные ответы – б), г), д).

**32. Какие из перечисленных языков являются языками искусственного интеллекта?**

Варианты ответа:

- |              |               |            |
|--------------|---------------|------------|
| а) ФОРТРАН;  | ж) ДЖАВА;     | н) ДЕЛЬФИ; |
| б) АЛГОЛ;    | з) ЛИСП;      | о) РЕФАЛ;  |
| в) PL-1;     | и) ПАСКАЛЬ;   | п) МОДУЛА; |
| г) БЕЙСИК;   | к) АССЕМБЛЕР; | р) СИМУЛА; |
| д) СИ (C++); | л) КОБОЛ;     | с) С#;     |
| е) ИПЛ-1;    | м) ПРОЛОГ;    | т) J#.     |

Правильные ответы – е), з), м), о).

**33. Какие задачи не относятся к задачам искусственного интеллекта?**

Варианты ответа:

- а) моделирование рассуждений человека с естественным интеллектом;
- б) задачи семантического и синтаксического анализа и компьютерный перевод;
- в) разработка алгоритмов самообучения – анализа текстов и получения знаний;
- г) автоматическое планирование поведения и выработка стратегии своих действий.
- д) разработка алгоритмов адаптации – приспособления и сотрудничества с человеком.
- е) построение алгоритмов самоадаптации к действиям окружающих людей.
- ж) решение творческих креативных задач в области науки, техники и искусства.
- з) построение адаптивных автоматизированных систем управления объектами.

Правильный ответ – ж).

## Алфавитный указатель

	<b>B</b>		<i>Безопасность БАК</i> ..... 13
<i>BLASKOR</i> ..... 87			<i>Биогенез и абиогенез</i> ..... 35
	<b>D</b>		<i>Биологическая информатика</i> ..... 35
<i>DARPA - Agency</i> ..... 56			<i>Биоинформационные технологии</i> .....7
	<b>H</b>		<i>Биокомпьютер</i> ..... 58
<i>HewlettPackard</i> ..... 56			<i>Биологическая информатика</i> ..... 24, 35
	<b>I</b>		<i>Биологические компьютеры</i> ..... 66
<i>IBM</i> ..... 56			<i>Биологический компьютер</i> ..... 55
	<b>L</b>		<i>Биомедицинские технологии жизнеобеспечения</i> 7
<i>Lyric Semiconductor</i> ..... 64			<i>Биосенсорные технологии</i> .....7
	<b>O</b>		<i>Биосфера планеты Земля</i> ..... 37
<i>Olympus Optical</i> ..... 68			<i>Биоэлектронные схемы</i> ..... 69
	<b>Q</b>		<i>Бозе–Эйнштейновские корреляции</i> ..... 13
<i>Quest Communications</i> ..... 63			<i>Бозон Хиггса</i> ..... 10
	<b>R</b>		<i>Большой адронный коллайдер</i> .....9
<i>RISC–процессоры на RSFQ–логике</i> ..... 59			<i>Браун, Ф.К.</i> ..... 46
	<b>S</b>		<i>Бриллюэн, Л.</i> ..... 49
<i>Spintronics</i> ..... 88			
	<b>A</b>		<b>B</b>
<i>Авирам, А.</i> ..... 56			<i>Варнек, А., Баскин, И.</i> ..... 46
<i>Автоматическое планирование поведения</i> ..... 85			<i>Вербализация</i> ..... 84
<i>Автоматическое порождение гипотез</i> ..... 81			<i>Вероятностные процессоры</i> ..... 66
<i>Агентство перспективных оборонных исследований США</i> ..... 56			<i>Вероятностный компьютер</i> ..... 55, 64
<i>Агломераты и проблема их образования</i> ..... 18			<i>Вещество как носитель знания</i> ..... 28
<i>Адаптация роботов</i> ..... 85			<i>Вещество, энергия, знания и информация</i> ..... 28
<i>Адаптивные системы управления</i> ..... 86			<i>Взаимодействие лиганд–белок</i> ..... 48
<i>Аденин, Тимин, Гуанин и Цитозин</i> ..... 66			<i>Вигода, Б.</i> ..... 64
<i>Азимов, А.</i> ..... 87			<i>Вид гравитационного потенциала</i> ..... 52
<i>Академические институты</i> .....8			<i>Вид напряженности гравитационного поля</i> ..... 52
<i>Актуальные задачи физической информатики</i> . 53			<i>Виды фундаментальных взаимодействий</i> ..... 9
<i>Алгоритмы самообучения</i> ..... 84			<i>Виртуальная жизнь</i> ..... 30
<i>Анализ генетических последовательностей</i> ..... 36			<i>Виртуальная реальность</i> ..... 30
<i>Аннотация геномов</i> ..... 36			<i>Виртуальные сетевые сообщества</i> ..... 30
<i>Антенна–осциллятор</i> ..... 20			<i>Виртуальные социальные группы</i> ..... 31
<i>Арсенид галлия</i> ..... 54			<i>Виртуальный скрининг</i> ..... 48
<i>Асимметрии протонов и антипротонов</i> ..... 13			<i>Вирусология</i> ..... 33
	<b>B</b>		<i>Влияние на общество Интернета</i> ..... 26
<i>Байес, Т.</i> ..... 64			<i>Возбуждённые кварки</i> ..... 13
<i>Байесовский вывод</i> ..... 81			<i>Возникновение адронных струй</i> ..... 13
<i>Байесовская сеть</i> ..... 81			<i>Волоконно–оптические кабели</i> ..... 63
<i>Баллистические технологии</i> ..... 89			<i>Вузовский сектор науки</i> ..... 8
			<i>Высокие технологии</i> ..... 8
			<i>Выход на внешние рынки</i> ..... 7

Проблемы современной фундаментальной науки

Вычислительная биология.....	37	Жёсткие диск.....	20
Вычислительная математика.....	38	Живые адаптивные системы.....	85
Вычислительная система будущего.....	55	Живые системы.....	7
Вычислительная эволюционная биология.....	37		
		<b>З</b>	
<b>Г</b>		Заданная атомная структура.....	14
Генетический код.....	67	Задача Гамильтонова пути.....	67
Генетический код бактерий.....	69	Задачи компьютерного перевода.....	84
Генетический компьютер.....	55	Зайлингер, А.....	50
Геномная биоинформатика.....	35	Закон Мура.....	54
Геномная революция.....	35	Законы информатики.....	51
Геологическая экспертная система.....	78	Защита авторских прав на программные продукты.....	34
Гибридный человеко-машинный интеллект.....	26	Знания.....	28
Гильбертово пространство.....	51		
Гипокамп.....	86	<b>И</b>	
Глобальное информационное общество.....	24	Игровой шуттер.....	74
Глушков, В.М.....	51	Игровые боты.....	74
Государственные Академии наук.....	8	Игромания.....	33
Гравитационное взаимодействие.....	9	Игры нанороботов.....	21
Графен.....	18, 89	ИИ-планирование.....	82
Гуманизация техники.....	26	Имидазолин.....	18
Гуревич, И.М.....	50	Импортозамещение.....	7
		Индуктивное логическое программирование....	81
<b>Д</b>		Индустрия наносистем.....	7
Двумерные наночастицы (плёнки).....	17	Индустрия нанотехнологий и наносистем.....	7
Декларация Обернэ.....	46	Инновационное развитие.....	8
Дендримеры (разветвленные полимеры).....	70	Интеллект.....	72
Дескриптивная логика.....	78	Интеллекtronика.....	72
Дескрипторное пространство.....	47	Интеллектуализация информатики.....	27
Детекторы.....	12	Интеллектуализация общества.....	30
Детерминированная система управления.....	86	Интеллектуальная оверстрата.....	31
Динамические интеллектуальные системы.....	83	Интеллектуальная система.....	41
Дискретная математика.....	38	Интеллектуальная собственность.....	29
Дискурс.....	83	Интеллектуальное планирование.....	82
Диспергенты.....	18	Интеллектуальное соперничество.....	34
Дитто, Б.....	70	Интеллектуальные системы.....	38, 45
ДНК-компьютер.....	55	Интеллектуальные сущности.....	72
ДНК-компьютинг.....	68	Интеллектуальный агент.....	82
ДНК-машина.....	70	Интеллектуальный анализ данных.....	82
ДНК-полимераза.....	67	Интеллектуальный датчик.....	42
Дробное секвенирование.....	36	Интеллектуальный исполнитель.....	42
		Интерфейсы ввода-вывода.....	62
<b>Е</b>		Информатика.....	23
Единая природа всех видов взаимодействий....	53	Информационная безопасность.....	26, 32
		Информационная грамотность.....	32
<b>Ж</b>			
Жданов, А.....	85		
Жесткие алгоритмы информатизации.....	27		

Проблемы современной фундаментальной науки

Информационная емкость неоднородности.....	51	Искусственный интеллект (ИИ).....	72
Информационная культура.....	32	Испытательный стенд - датчик.....	41
Информационная наука.....	23	Исследование расширения Вселенной.....	53
Информационная среда.....	24	Исследование химического пространства.....	48
Информационная среда общества.....	28, 29	<b>К</b>	
Информационная техника.....	23	Кастельс, М.....	31
Информационная энтропия.....	49, 50	Квант.....	60
Информационное взаимодействие.....	23	Квантовая механика.....	51, 88
Информационное взаимодействие систем.....	53	Квантовая энтропия.....	49
Информационное единство наук.....	27	Квантовая эффективность.....	17
Информационное общество.....	25	Квантово-криптографические системы.....	61
Информационное право.....	33	Квантовые компьютеры.....	59
Информационное пространство.....	29	Квантовые элементы.....	59
Информационно-психологическая		Квантовые эффекты.....	14
безопасность.....	32	Квантовый канал связи.....	61
Информационно-психологическая опасность...	32	Квантовый компьютер.....	55
Информационно-телекоммуникационные		Кварк-глюонная плазма.....	10, 13
адаптационные системы.....	7	Кибернетика.....	25
Информационно-телекоммуникационные		Киберпанки.....	33
технологии.....	6, 7	Китаев, А.....	59
Информационные войны.....	34	Классическая математика.....	38
Информационные модели космологических и		Клаузальные структуры.....	81
космических объектов.....	52	Клеточные биокомпьютеры.....	66
Информационные основы теории всего.....	53	Клеточные компьютеры.....	71
Информационные процессы.....	23, 24	Ключевая роль информационных процессов	
		в развитии живой и неживой природы.....	25
Информационные ресурсы.....	28	Когнитивная психология.....	75
Информационные ресурсы общества.....	28	Когнитивные структуры.....	78
Информационные технологии.....	23	Когнитивные структуры общества.....	30
Информационный комфорт личности.....	31	Кодон – единица генетического кода.....	67
Информационный образ жизни общества.....	30	Компетентности базы знаний.....	84
Информационный период развития.....	39	Компьютерная наука.....	23
Информационный подход как фундаментальный		Компьютерная политология.....	26
метод научного познания.....	25	Компьютерная преступность.....	33, 34
Информационный потенциал общества.....	28	Компьютерное пиратство.....	34
Информационный принцип.....	45	Компьютерные правонарушители.....	34
Информационный спектр излучения.....	52	Компьютерные науки.....	38
Информационный тип взаимодействия.....	52	Компьютерный синтез.....	48
Информация как фундаментальная		Компьютеромания.....	33
семантическая сущность материи.....	28	Компьютероманы.....	34
Информация как фундаментальное понятие....	24	Компьютерофобия.....	33
Искусственные информационные системы.....	24	Конструктивная математика.....	38
Искусственные нейронные сети.....	89	Контактные взаимодействия кварков.....	13
Искусственный интеллект.....	27, 38, 72	Контроль и диагностика.....	38

Проблемы современной фундаментальной науки

<i>Концептуальные устройства связи</i> .....	21	<i>Методы информационного моделирования</i> .....	24
<i>Концепты</i> .....	78	<i>Методы молекулярного наслаивания</i> .....	17
<i>Корпорация РЭНД</i> .....	75	<i>Методы обучения причинам действий</i> .....	81
<i>Космические и авиационные технологии</i> .....	6	<i>Методы реализации информационных процессов в природе</i> .....	25
<i>Кракеры</i> .....	33	<i>Методы создания монослоёв</i> .....	17
<i>Кремниевая электроника</i> .....	54	<i>Механизм электрослабой симметрии</i> .....	10
<i>критические технологии</i> .....	6	<i>Микромашины</i> .....	16
<i>Кубит (qubit, QuantumBit)</i> .....	59	<i>Микроминиатюризация</i> .....	16
<i>Культурный потенциал нации</i> .....	8	<i>Микророботы</i> .....	16
<b>Л</b>			
<i>Лёгкие чёрные дыры</i> .....	13	<i>Множество концептов</i> .....	78
<i>Леттокварки</i> .....	13	<i>Моделирование рассуждений</i> .....	78
<i>Линейная нотация Висвессера</i> .....	47	<i>Моделирование рассуждений на основе заранее заданных ограничений</i> .....	80
<i>Липтон, Р.</i> .....	68	<i>Моделирование рассуждений о пространстве..</i>	84
<i>Лицо, принимающее решения (ЛПР)</i> .....	43	<i>Моделирование рассуждений, основанных на прецедентах</i> .....	84
<i>Ллойд, С.</i> .....	50	<i>Мозаичная (сотовая) структура общества</i> .....	30
<i>Логика пространства и времени</i> .....	78	<i>Мозаичное общество</i> .....	30
<i>Логик–Теоретик</i> .....	75	<i>Мозг человека как биокomпьютер</i> .....	70
<b>М</b>			
<i>Мазеры</i> .....	59	<i>Молекула ДНК</i> .....	66
<i>Мазур, Ю.</i> .....	87	<i>Молекулярная схемотехника</i> .....	56
<i>Мак Алир, Дж.</i> .....	55	<i>Молекулярная электроника</i> .....	55
<i>МакКарти, Дж.</i> .....	81	<i>Молекулярное подобие</i> .....	48
<i>Манипулирование объектами</i> .....	73	<i>Молекулярные графы</i> .....	46
<i>Математическая информатика</i> .....	24, 38, 45	<i>Молекулярные дескрипторы</i> .....	47
<i>Математическая логика</i> .....	38	<i>Молекулярные пропеллеры</i> .....	21
<i>Математическая статистика</i> .....	38	<i>Молекулярные роторы</i> .....	20
<i>Математическая физика</i> .....	39	<i>Молекулярные технологии</i> .....	14
<i>Математическая химия</i> .....	46	<i>Молекулярный дизайн химических соединений</i>	48
<i>Математическое моделирование</i> .....	40	<i>Молекулярный компьютер</i> .....	55
<i>Материя как сложная система</i> .....	28	<i>Молетроника</i> .....	55
<i>Матинформатика</i> .....	38	<i>Молодёжная политика государства</i> .....	34
<i>Матрицы смешивания кварков</i> .....	52	<i>Мощный симулятор BioSPICE</i> .....	68
<i>Машинное зрение</i> .....	73	<i>М–теория (теория бран)</i> .....	9
<i>Машинное обучение</i> .....	73, 81	<i>Мур, Гордон</i> .....	54
<i>Медицинская диагностика</i> .....	89	<i>Мюон–антимюонные пары</i> .....	13
<i>Медицинская экспертная система CASNET</i> .....	78	<i>Мягкие алгоритмы информатизации</i> .....	27
<i>Медицинская экспертная система MYCIN</i> .....	78	<b>Н</b>	
<i>Международные футурологические конференции</i> .....	21	<i>Накопитель данных</i> .....	42
<i>Международный форум по нанотехнологиям</i> ...	22	<i>Наноаккумуляторы</i> .....	18
<i>Мезоны</i> .....	13	<i>Наноарт (наноискусство)</i> .....	22
<i>Метод микролитографии в электронике</i> .....	17	<i>Нанокomпозиты</i> .....	17
<i>Методология ориентированного сканирования</i>	19	<i>Нанокomпоненты на основе ДНК</i> .....	70

Проблемы современной фундаментальной науки

<i>Нанокomпьютер</i> .....	55	<i>Общая теория систем</i> .....	25
<i>Нанокomпьютеры на основе ДНК</i> .....	71	<i>Оверстрата (надстрата) общества</i> .....	31
<i>Наноманипуляторы</i> .....	15	<i>Одномерные нанобъекты (вискеры)</i> .....	17
<i>Наноматериалы</i> .....	7, 18	<i>Олеиновый стирт</i> .....	18
<i>Наномедицина</i> .....	19	<i>Онтология</i> .....	78
<i>Нанобъекты</i> .....	14	<i>Оптимизация информационного процесса</i> .....	27
<i>Нанопродукция</i> .....	14	<i>Оптические датчики</i> .....	62
<i>Нанороботы</i> .....	16, 21	<i>Оптические мышцы</i> .....	62
<i>Нанотехнологии</i> .....	7, 14	<i>Оптические принтеры и плоттеры</i> .....	62
<i>Нанотехнологическое общество России</i> .....	21	<i>Оптические свойства</i> .....	17
<i>Нанотехнология</i> .....	16	<i>Оптический компьютер</i> .....	55, 61
<i>Нанотрубки</i> .....	89	<i>Оптическое волокно (оптоволокно)</i> .....	62
<i>Нанофармакология</i> .....	19	<i>Оптоэлектронный компьютер</i> .....	61
<i>Наночастицы</i> .....	17	<i>Органические материалы</i> .....	17
<i>Наука об интеллектуальных системах</i> .....	44	<i>Органические наночастицы</i> .....	17
<i>Наукоёмкие производства</i> .....	15		
<i>Национальная безопасность</i> .....	7	<b>П</b>	
<i>Национальная инновационная система</i> .....	8	<i>Параллелизм квантовых вычислений</i> .....	60
<i>Национальные информационные ресурсы</i> .....	29	<i>Пенроуз, Р.</i> .....	49
<i>Национальные исследовательские университеты и научные центры</i> .....	8	<i>Персептрон искусственной нейронной сети</i> .....	58
<i>Нейрокomпьютер</i> .....	55, 58	<i>Петлевая квантовая гравитация</i> .....	9
<i>Нейроны пиявки</i> .....	70	<i>Плазмоны</i> .....	20
<i>Неклассическая математика</i> .....	38	<i>Планирование и программирование поведения искусственного интеллекта</i> .....	82
<i>Немонотонные модели рассуждений</i> .....	80	<i>Повышение качества жизни</i> .....	7
<i>Необратимость времени</i> .....	52	<i>Поиск суперсимметрии</i> .....	10
<i>Нечеткие модели и мягкие вычисления</i> .....	83	<i>Поле Хиггса</i> .....	10
<i>Новая информационная культура</i> .....	24	<i>Пользовательский интерфейс</i> .....	83
<i>Новая научная картина мира</i> .....	24	<i>Предварительный ускоритель</i> .....	13
<i>Новая научная парадигма</i> .....	25	<i>Предикаты</i> .....	38
<i>Новая физика за пределами стандартной модели теории элементарных частей</i> .....	9	<i>Представление знаний и моделирование рассуждений</i> .....	78
<i>Новое научное мировоззрение</i> .....	24	<i>Преонные модели</i> .....	11
<i>Новые материалы и химические технологии</i> .....	7	<i>Прецеденты</i> .....	78
<i>Новые наноматериалы</i> .....	6	<i>Приборы и устройства особого назначения</i> .....	7
<i>Новые перспективные материалы</i> .....	7	<i>Прикладная информатика</i> .....	27
<i>Носитель информации</i> .....	41	<i>Прикладная математика</i> .....	39
<i>Нуклеиновые кислоты</i> .....	17	<i>Принцип абсолютного задания точки</i> .....	39
<i>Ньютон, И.</i> .....	16	<i>Принцип информационного задания точки</i> .....	39
<b>О</b>		<i>Принцип квантовой механики Зейлингера</i> .....	52
<i>Обобщающая сингулярная ультрасистема</i> .....	43	<i>Принцип максимальной энтропии</i> .....	53
<i>Обработка естественного языка</i> .....	83	<i>Принцип отражения</i> .....	45
<i>Обработка образной информации</i> .....	82	<i>Принцип системности</i> .....	45
<i>Общая теория относительности</i> .....	9	<i>Приобретение знаний</i> .....	81
		<i>Приоритетные направления развития науки</i> .....	6

Проблемы современной фундаментальной науки

<i>Природные объекты наноразмеров</i> .....	17	<i>Секвенирование (распознавание кода)</i> .....	71
<i>Проблема «атомизации» общества</i> .....	30	<i>Сельскохозяйственный период человечества</i> ...	39
<i>Проблема приближения к пределу быстродействия</i> .....	55	<i>Семантическая информация</i> .....	40, 45
<i>Проблема утечки мозгов</i> .....	29	<i>Семантические сети</i> .....	38
<i>Проблемы информатизации общества</i> .....	25	<i>Семантический анализ</i> .....	84
<i>Прогнозирование и проектирование</i> .....	38	<i>Семантический указатель</i> .....	41
<i>Прогнозирование химических свойств новых разрабатываемых веществ и соединений</i> .....	47	<i>Серая слизь или «серая жижа»</i> .....	16
<i>Программные боты</i> .....	73	<i>Серводвигатели</i> .....	16
<i>Промышленный период человечества</i> .....	39	<i>Силы Ван-дер-Ваальса</i> .....	16
<i>Пространственные виртуальные дисплеи</i> .....	62	<i>Силы межмолекулярного взаимодействия</i> .....	16
<i>Протон-ионные столкновения</i> .....	13	<i>Сильное взаимодействие</i> .....	9
<i>Прохождение информационных процессов в современном обществе</i> .....	26	<i>Симэн, Н.</i> .....	70
<i>Процессоры типа AMD</i> .....	66	<i>Сингулярные ультрасистемы</i> .....	43
<i>Процессоры типа Intel</i> .....	66	<i>Синергетика</i> .....	25
<i>Процессы информационного взаимодействия в системах различной природы</i> .....	23	<i>Синергетические свойства наночастиц</i> .....	17
<i>Псевдооптические нейросети</i> .....	82	<i>Система управления</i> .....	44
<b>Р</b>		<i>Системы искусственного интеллекта</i> .....	38
<i>Развитие информационных процессов</i> .....	28	<i>Системы поддержки принятия решений</i> .....	83
<i>Различие понятий информатизации и компьютеризации</i> .....	27	<i>Системы с интеллектуальными свойствами</i> .....	41
<i>Разработка инструментальных средств</i> .....	84	<i>Системы управления</i> .....	38
<i>Рассуждения о действиях и изменениях</i> .....	80	<i>Сканеры изображений</i> .....	62
<i>Рассуждения с неопределенностью</i> .....	80	<i>Сканирующий зондовый микроскоп</i> .....	20
<i>Расширение Вселенной</i> .....	52	<i>Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ)</i> ....	57
<i>Ратнер, М.</i> .....	56	<i>Сколково</i> .....	22
<i>Реальные и идеальные объекты</i> .....	40	<i>Слабое взаимодействие</i> .....	9
<i>Революция в астрофизике</i> .....	52	<i>Сложная система</i> .....	44
<i>Рейверы</i> .....	34	<i>Смит, Л.</i> .....	68
<i>Рибонуклеиновая кислота (РНК)</i> .....	67	<i>Создание виртуальной реальности</i> .....	25
<i>Розенблатт, Ф.</i> .....	58	<i>Создание военной техники</i> .....	89
<i>РосНАНО</i> .....	22	<i>Создание теории квантовой гравитации</i> .....	9
<i>Российская кремниевая долина</i> .....	22	<i>Солнечные батареи</i> .....	17
<i>Российский интеллектуальный потенциал</i> .....	8	<i>Сотовая (сетевая) структура социальной организации современного общества</i> .....	30
<b>С</b>		<i>Соты как элементы социальных структур</i> .....	30
<i>Самоадаптирующиеся системы управления</i> .....	87	<i>Социальная группа с разумным поведением</i> ....	31
<i>Самоорганизация наночастиц</i> .....	17	<i>Социальная девиация</i> .....	33
<i>Самоочищающиеся поверхности</i> .....	19	<i>Социальная информатика</i> .....	24, 25
<i>Саморазмножение</i> .....	16	<i>Социальная практика</i> .....	23
<i>Самособирающийся нанотранзистор</i> .....	69	<i>Социальные аспекты информатизации</i> .....	26
<i>Сверхтонкие пленки</i> .....	17	<i>Социальные коммуникации</i> .....	23
		<i>Социальные микроструктуры современного гражданского общества</i> .....	30
		<i>Социальные последствия информатизации</i> .....	26
		<i>Социальный баланс науки и образования</i> .....	8

Проблемы современной фундаментальной науки

Социологии молодежи.....	34	Технологии программного обеспечения.....	7
Социологический анализ.....	26	Технологии создания биологически совместимых материалов.....	7
Спинтовая электроника (спинтроника).....	88	Технологическая сингулярность.....	89
Сравнение генов.....	36	Технологический барьер.....	15
Сравнительная геномика.....	35	Технология мультиплексирования.....	63
Стандартная модель теории элементарных частиц и её недостатки.....	9	Техносфера.....	29
Стин, Э.....	49	Тонкие микронные плёнки.....	17
Стратегические задачи модернизации.....	8	Топ–кварк.....	10
Структурная биоинформатика.....	35	Топ–кварк–антикварковая пара.....	10
Структурный принцип.....	45	Топология.....	58
Суперсимметрия.....	9, 10	Точка сингулярности.....	89
Супрамолекулярная химия.....	18	Трансатлантический оптический кабель.....	63
<b>Т</b>		Трансгенные микроорганизмы.....	69
Танигути, Норио.....	16	Трёхмерная архитектура микросхем.....	54
Теорема Марголиса–Левитина.....	50	Трёхмерные наночастицы.....	17
Теории и модели с большим количеством пространственных измерений.....	11	Тьюринг, А.....	72
Теории с размерностями больше четырёх.....	9	Тэватрон.....	11
Теории с сильной гравитацией.....	11	<b>У</b>	
Теория алгоритмов и функциональных языков.....	38	Уайт, О.....	36
Теория вероятностей.....	39	Углеродные нанотрубки.....	18
Теория групп.....	39	Уиллер, Дж.....	49
Теория действий.....	81	Ультраоператоры.....	38, 40
Теория информации.....	38, 44	Ультрасистема.....	40, 43
Теория нечётких множеств.....	38	Ультрасистемы как трансляторы.....	43
Теория программирования.....	38	Ультрасистемы как ячейки интеллекта.....	38
Теория рекурсивных функций.....	38	Уровень интеллекта технических устройств.....	84
Теория связи.....	44	Урсул, А. Д.....	26, 49
Теория сильных взаимодействий.....	10	Ускорение частиц в коллайдере.....	12
Теория строения микромира.....	9	Устойчивая неоднородность.....	50
Теория струн.....	9	Уточняющая сингулярная ультрасистема.....	43
Теория супергравитации.....	9	<b>Ф</b>	
Теория суперструн.....	9	Фазовые преобразования и кривизна пространства как источники информации.....	52
Теория языков и грамматик.....	38	Фармакофор.....	48
Терминальные элементы.....	44	Фармакофоры и фармакофорный поиск.....	48
Тернарный код.....	71	Федеральные исследовательские университеты.....	8
Тест Тьюринга.....	72	Фейгенбаум, Э.....	77
Технократический подход.....	29	Фейнман, Р.....	15
Технологии биокатализа и биосинтеза.....	7	Феномен информации.....	24
Технологии получения возобновляемых источников энергии.....	7	Физическая информатика.....	24, 49
Технологии сохранения, передачи, обработки и защиты информации.....	7	Физические системы квантовой механики.....	53
		Финансовая инженерия.....	26
		Фон Нейман, Дж.....	49

Проблемы современной фундаментальной науки

Форум РоснаноТех.....	22	Человек–информационная среда.....	32
Фотон.....	60	Чечкин, А.В. ....	38
Фотон–адронные столкновения.....	11	Чистая математика.....	39
Фотонные транзисторы.....	88	Чой, Ю.....	70
Фотон–фотонные столкновения.....	11	<b>Ш</b>	
Фотоны высоких энергий.....	11	Шапиро, И. ....	68
Фреймы.....	38	Шеннон, К.....	49
Фрикеры.....	33	Шлемы виртуальной реальности.....	62
Фуллерены.....	18	Шор, П.....	59
Фундаментальная наука.....	4	<b>Э</b>	
Фундаментальное естествознание.....	38	Эволюционная биология.....	37
Фундаментальные гуманитарные науки.....	25	Эвристики.....	75
Фундаментальные закономерности реального мира и окружающего пространства.....	24	Эвристическое программирование.....	77
Функциональный анализ.....	39	Эдлмен, Л.....	67
<b>Х</b>		Эйнштейн, А. ....	49
Хакер.....	33	Экологическая экспертная система SIMER+MIR78	
Хакерство.....	33	Экспертная система.....	43, 78
Хакеры как компьютерные санитары.....	34	Экспертная система DENDRAL.....	77
Хемогеномика.....	46	Экспертные системы.....	27, 77
Хемоинформатика.....	46	Электромагнитное взаимодействие.....	9
Хеометрика.....	46	Электроника.....	6
Хиггсовский механизм нарушения симметрии..	10	Электрохимическое анодирование алюминия..	18
Химическая информатика.....	24, 46	Эмергентная эволюция.....	89
Химическая информация.....	47	Эмуляция нейрокомпьютеров.....	58
Химические технологии.....	6	Энергия как носитель информации.....	28
Хогевег, П.....	35	<b>Я</b>	
Хокинг, С.....	49	Явление хакерства.....	34
<b>Ц</b>		Явления информационного взаимодействия....	24
Центральные процессоры.....	20	Язык искусственного интеллекта ЛИСП.....	75
Цитрат аммония.....	18	Язык вероятностного компьютера PSBL.....	66
<b>Ч</b>		Язык искусственного интеллекта ИГЛ-1.....	75
Чашка Петри, наполненная спиралями ДНК.....	70	Язык искусственного интеллекта ПРОЛОГ.....	77
		Язык рекурсивных функций РЕФАЛ.....	77

## Библиография

1. Купцов, В. И. Образование, наука, мировоззрение и глобальные вызовы XXI века / В. И. Купцов; МГУ им. М. В. Ломоносова. – СПб. : Алетейя, 2009.– 428 с.
2. Водопьянова, Е.В. Европа и Россия на карте мировой науки / Е. В. Водопьянова. – М.: Экономическая литература: "БИМПА", 2002. – 221 с.
3. Современные философские проблемы естественных, технических и социо-гуманитарных наук: учебник для аспирантов / под ред. проф. В.В. Миронова. – М.: Гардарики, 2006. – 639 с.
4. – История и философия науки. – Библиография в конце разделов.
5. Чечкин А.В. Математическая информатика / А.В. Чечкин.–М.: «Наука», Физматлит, 1991. – 416 с.
6. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Фундаментальная\\_наука.htm](http://ru.wikipedia.org/wiki/Фундаментальная_наука.htm).
7. [http://www.issras.ru/paper/Prior2011\\_Mindeli.php](http://www.issras.ru/paper/Prior2011_Mindeli.php) / Институт проблем развития науки РАН / ИПРАН РАН/Л.Э. Миндели,С.И. Черных./ Приоритетные направления развития и фундаментальная наука. htm
8. <http://www.msu.ru/science/sci-dir-1.html>/МГУ им. М.В. Ломоносова Перечень приоритетных направлений фундаментальных научных исследований Российской Федерации.
9. [http://Ru.wikipedia.org/wiki/Большой\\_адронный\\_коллайдер.htm](http://Ru.wikipedia.org/wiki/Большой_адронный_коллайдер.htm).
10. <http://Lurkmore.to> / Большой\_адронный\_коллайдер.html.
11. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Нанотехнология.htm>.
12. <http://www.botik.ru/ICCC/NewPage/ICCCpageRus/Projects/2008/3session/HTML/nano/nano.html>.
13. <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1377>, <http://www.rusedu.info/Informatika.html>.
14. Гончаров В.Н. Информатизация образования общества: фундаментальный аспект исследования информатики // Фундаментальные исследования.–2012.–№3.–стр.21–24 URL<http://rae.ru/fs/428-r29329/>.
15. Колин К.К. Феномен информации и философские основы информатики // Вестник высшей школы. – 2004. – № 11.– С. 33–38.
16. Ершов А. П. Информатика: предмет и понятие. Становление информатики.– М. :Наука, 1986.–С.28–31.
17. Гуревич И.М. Законы информатики – основа строения и познания сложных систем. – М.: РИФ «Антиква», 2003. – 176 с.
18. <http://physicalinformatics.ru/about-physical-informatics/> И. М. Гуревич. Физическая информатика. О физической информатике. html.
19. Колин К.К. Эволюция информатики. Информационные технологии, № 1, 2005. – С. 2–16.
20. Хокинг С., Пенроуз Р. Природа пространства и времени. Ижевск. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2000. 160 с.

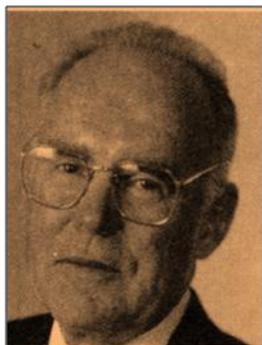
21. Гуревич И.М. Законы информатики – основа строения и познания сложных систем. Москва. «Торус Пресс». 2007. 400 с.
22. Гуревич И.М. Оценка основных информационных характеристик Вселенной. // Информационные технологии. № 12. Приложение. 2008. 32 с.
23. Гуревич И.М., Урсул А.Д. Информация – всеобщее свойство материи: Характеристики, оценки, ограничения, следствия. ЛИБРОКОМ. Серия: Relata Refero. 2012. 312 с. <http://urss.ru>
24. Гуревич И.М. Физическая информатика. LAP Lambert Academic Publishing. (26.01.2012). 288с. <https://www.yam-publishing.ru/catalog/details/store/ru/book/978-3-8473-3873-4>
25. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Хемоинформатика.html>.
26. <https://sites.google.com/site/chemistryinf/>
27. [http://universal\\_ru\\_en.academic.ru/2968691/Химическая\\_информатика.html](http://universal_ru_en.academic.ru/2968691/Химическая_информатика.html)
28. [http://gazeta.zn.ua/SCIENCE/ukr/fiziko-himicheskaya\\_informatika.html](http://gazeta.zn.ua/SCIENCE/ukr/fiziko-himicheskaya_informatika.html)
29. [http:// Ru.wikipedia.org/wiki / Биоинформатика.htm](http://Ru.wikipedia.org/wiki/Биоинформатика.htm).
30. <http://vbibl.ru/biolog/5777/index.html> Калашников Ю.Я. Естествознанию нужна новая наука – молекулярная биологическая информатика.html.
31. <http://bioinformatics.ru/Биоинформатика, программирование и анализ биологических данных.html>
32. <http://postnauka.ru/themes/ bioinformatica / О биологической информатике.html>.
33. <http://elementy.ru/lib/430895/> М.С. Гельфанд. Что может биоинформатика.html
34. <http://www.intsys.msu.ru/staff/chechkin/Интеллектуальные системы.html>
35. Чечкин А.В. Принципы и методы математического моделирования интеллектуальных систем. Интеллектуальные системы, Прохоров. Фундаментальные науки – проблемы или кризис?/ Журнальный зал Новый Мир, 1995 N10, с.10 – 15.
36. <http://lebed.com/2013/art6251.htm>/С.П. Габуда. Фундаментальная наука и кризис общества.
37. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Молекулярный\\_компьютер.html](http://ru.wikipedia.org/wiki/Молекулярный_компьютер.html).
38. Минкин. Молекулярные компьютеры: Перспективы развития.html.
39. [http://arzak.ru/Молекулярный\\_компьютер\\_и\\_память.\\_Нейронные\\_сети.html](http://arzak.ru/Молекулярный_компьютер_и_память._Нейронные_сети.html)
40. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Нанокomпьютер.html>
41. [http://nano-edu.ulsu.ru/w/index.php/Наноэлектроника. Нанокomпьютеры](http://nano-edu.ulsu.ru/w/index.php/Наноэлектроника._Нанокomпьютеры).
42. [http://old.computerra.ru/hitech/37505/Компьютерра\\_On\\_Line/Нанокomпьютеры.html](http://old.computerra.ru/hitech/37505/Компьютерра_On_Line/Нанокomпьютеры.html)
43. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_компьютер.html](http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_компьютер.html)
44. <http://www.festivalnauki.ru/statya/3479/kvantovye-kompyutery-otkroyut-parallelnye-miry.html>
45. <http://quantumcomputers.narod.ru/> Вопрос учёному: когда квантовые компьютеры будут доступны?

46. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Оптический\\_компьютер.html](http://ru.wikipedia.org/wiki/Оптический_компьютер.html)
47. [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_2/2632.html/Оптические\\_компьютеры.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2632.html/Оптические_компьютеры.html)
48. [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/4113/Физическая\\_энциклопедия.\\_Оптические\\_компьютеры.\\_Управление\\_светом\\_с\\_помощью\\_света.html](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/4113/Физическая_энциклопедия._Оптические_компьютеры._Управление_светом_с_помощью_света.html).
49. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Нейрокомпьютер.html>
50. [http://inf1.info/book/export/html/153/Нейрокомпьютеры,\\_нейросети\\_и\\_нейроинформатика.html](http://inf1.info/book/export/html/153/Нейрокомпьютеры,_нейросети_и_нейроинформатика.html)
51. [http://algotlist.manual.ru/ai/neuro/index.php/Нейронные\\_сети\\_и\\_нейроинформатика.html](http://algotlist.manual.ru/ai/neuro/index.php/Нейронные_сети_и_нейроинформатика.html)
52. [http://www.kommersant.ru/doc/2266330/Вероятностный\\_компьютер.html](http://www.kommersant.ru/doc/2266330/Вероятностный_компьютер.html)
53. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Вероятностный\\_процессор.html](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вероятностный_процессор.html)
54. [http://www.membrana.ru/particle/3399/Л. Попов/ Вероятностный чип перевернул мир отказом от привычной двоичной логики.html](http://www.membrana.ru/particle/3399/Л._Попов/_Вероятностный_чип_перевернул_мир_отказом_от_привычной_двоичной_логики.html)
55. [http://advaitaworld.com/tag/Генетический\\_компьютер.html](http://advaitaworld.com/tag/Генетический_компьютер.html)
56. [http://lenta.ru/news/2013/03/29/transcriptor/Биологи\\_создали\\_генетический\\_транзистор.html](http://lenta.ru/news/2013/03/29/transcriptor/Биологи_создали_генетический_транзистор.html)
57. [http://www.computer – museum.ru / technology / genecomp.htm](http://www.computer-museum.ru/technology/genecomp.htm) /Технологии / Э.А. Рыбак. Генетические и клеточные биокомпьютеры.html
58. [http://www.cyberforum.ru/processors/thread8619.html/Клеточные\\_и\\_ДНК-компьютеры.html](http://www.cyberforum.ru/processors/thread8619.html/Клеточные_и_ДНК-компьютеры.html)
59. [http://www.intuit.ru/studies/courses/45/45/lecture/689/Способы\\_организации\\_высокопроизводительных\\_процессоров.\\_Клеточные\\_и\\_ДНК-процессоры.\\_Коммуникационные\\_процессоры.html](http://www.intuit.ru/studies/courses/45/45/lecture/689/Способы_организации_высокопроизводительных_процессоров._Клеточные_и_ДНК-процессоры._Коммуникационные_процессоры.html)
60. <http://www.digimedia.ru/articles/tehnologii-buduschego/noveyshie-dostizheniya/protssory/kletochnye-vychisleniya-nukleinovye-protssory-molekulyarnye-schety/> Г. Жук. Клеточные вычисления. Нуклеиновые процессоры. Молекулярные счёты.html
61. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный\\_интеллект.html](http://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный_интеллект.html)
62. [http://aidt.ru/Журнал\\_Искусственный\\_интеллект\\_и\\_принятие\\_решений/](http://aidt.ru/Журнал_Искусственный_интеллект_и_принятие_решений/)
63. [http://rriai.org.ru/Искусственный\\_интеллект/Системы\\_и\\_модели/Нейронные\\_сети,\\_генетические\\_алгоритмы\\_и\\_нечёткие\\_системы/Искусственный\\_интеллект.html](http://rriai.org.ru/Искусственный_интеллект/Системы_и_модели/Нейронные_сети,_генетические_алгоритмы_и_нечёткие_системы/Искусственный_интеллект.html)
64. [http://rnd.cnews.ru/news/top/index\\_science.shtml2013/06/28/533680/Робототехника/Програмное\\_обеспечение\\_и\\_алгоритмы/Искусственный\\_интеллект\\_учат\\_интуиции.html](http://rnd.cnews.ru/news/top/index_science.shtml2013/06/28/533680/Робототехника/Програмное_обеспечение_и_алгоритмы/Искусственный_интеллект_учат_интуиции.html)
65. [http://www.computerra.ru/tag/iskusstvennyiy-intellekt/Искусственный\\_интеллект.html](http://www.computerra.ru/tag/iskusstvennyiy-intellekt/Искусственный_интеллект.html)
66. [http://www.youtube.com/watch/M. В.Таланов \(Институт нейрокибернетики РАН\). Искусственный интеллект и естественный язык. Части 1 и 2.Мультимедийные лекции.](http://www.youtube.com/watch/M._В.Таланов_(Институт_нейрокибернетики_РАН)._Искусственный_интеллект_и_естественный_язык._Части_1_и_2.Мультимедийные_лекции.)
67. [http://www.youtube.com/watch/M.В.Петрушан \(Институт нейрокибернетики РАН\). Робототехника и искусственный интеллект. Мультимедийные лекции.](http://www.youtube.com/watch/M.В.Петрушан_(Институт_нейрокибернетики_РАН)._Робототехника_и_искусственный_интеллект._Мультимедийные_лекции.)

## Приложения

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА НЕПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТНЫХ БАЗАХ

#### Закон Гордона Мура



Бурное развитие современной микроэлектроники происходит за счёт постоянного уменьшения размеров отдельных элементов микросхем и увеличения плотности их размещения на кристалле. Это позволяет повышать скорость переработки информации. Однако неуклонное возрастание сложности и быстродействия интегральных схем на основе кремния не может продолжаться до бесконечности. Вскоре на этом пути встанет барьер, обусловленный фундаментальными законами физики. В 1965 г., на заре компьютерной эры, один из «отцов-основателей» современной микроэлектроники **Гордон Мур** предсказал, что количество транзисторов на одной микросхеме будет ежегодно удваиваться. Прошло почти сорок лет, а **закон Мура** по-прежнему действует. Когда размеры транзисторов и расстояния между ними достигнут нескольких десятков нанометров (1 нм равен  $10^{-9}$  м), вступят в силу так называемые размерные эффекты – физические явления, полностью нарушающие работу традиционных кремниевых устройств. **Вывод:** нужны компьютеры с более высокими скоростными характеристиками. Поэтому специалисты всего мира взялись за решение этой проблемы путем **создания вычислительной системы будущего, использующей другие, неполупроводниковые элементные базы.**

#### 1. Молекулярные компьютеры



Транзистор может состоять всего из одной органической молекулы. Если из миллиарда таких транзисторов построить процессор, он будет не больше песчинки. При этом его производительность возрастет в тысячи раз по сравнению с современными компьютерами, а энергопотребление станет существенно меньше. Такие молекулярные процессоры можно будет встраивать в любые устройства настолько малых **наноразмеров**, что они даже не будут видны человеческому глазу. **Молекулярные блоки памяти** обеспечат плотность хранения данных, немыслимую для полупроводниковых микросхем. Плотность размещения молекулярных элементов в трехмерной схеме может составить  $10^{12} \dots 10^{15}$  на  $\text{мм}^{-3}$ . Это в  $10^6$  раз выше, чем в нервных волокнах! Скорость передачи информации также возрастёт в  $10^6$  раз. Фантастика? Однако **молекулярная микросхема уже разработана**, а начало промышленного производства молекулярных компьютеров прогнозируется уже сейчас, к 2015 гг. Сегодня в мире существуют десятки научных центров, занимающихся разработкой устройств молелектроники, в создание которых вкладываются огромные средства.

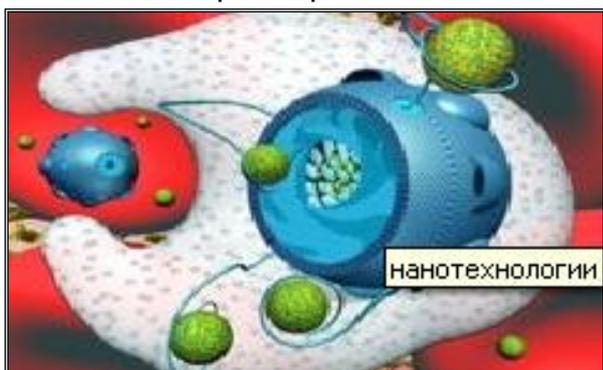
## 2. Нанотехнологии и нанокomпьютеры



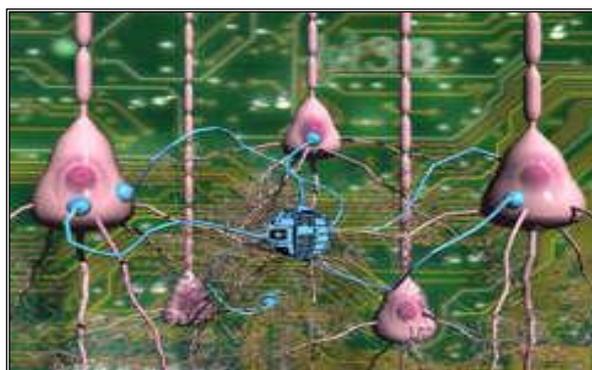
**Нанотехнологии** позволят создавать абсолютно любые объекты, манипулируя отдельными атомами вещества. Они, заменив другие технологии, позволят не только победить старость и болезни, дав человечеству **бессмертие** и **вечную молодость**, но и обеспечат его фантастическими материальными богатствами, позволив освоить космическое пространство. Словом, нанотехнологии - это вечная молодость и материальное изобилие в экологически чистых мирах Вселенной! О необходимости создания **нанотехнологий** впервые заговорил физик **Ричард Фейнман**, поставив задачу компактного хранения информации. Нанотехнологии обещают радикально изменить как инструменты обработки информации – компьютеры, так и методы их использования. Любые устройства содержат огромное количество атомов. Чтобы выполнить устройство с помощью нанотехнологий, каждый атом нужно переместить на отведённое ему место. Уже найдено много интереснейших способов применения нанотехнологий, и количество прогнозов увеличивается с каждым днём.

Вполне реальным техническим устройством завтрашнего дня становится **нанокomпьютер**, способный работать с тактовыми частотами в десятки терагерц. Этот нанокomпьютер будет состоять из мельчайших деталей с заранее заданными свойствами, каждая из которых будет собрана всего лишь из нескольких тысяч атомов.

**Нанотехнологии** невозможны без применения **нанокomпьютеров, коммуникаций и программирования**. Роботы – сборщики будут получать и обрабатывать информацию извне, а также обмениваться информацией друг с другом, ретранслируя её и образуя коммуникационные сети. Микророботов и программы для них придётся создавать на самой современной вычислительной технике – сначала на обычных компьютерах, а затем на нанокomпьютерах. По прогнозам, промышленное применение нанотехнологий произойдёт уже в начале XXI в., а спустя еще десятилетие нанотехнологии образуют заметный сектор в мировой экономике.

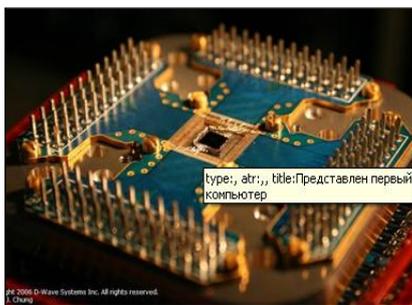


**Нанoeлектронный фагоцит** – составляющая часть искусственной иммунной системы любого человека, позволяющий за считанные секунды распознать и уничтожить вирус любой болезни, проникшей в наш организм.



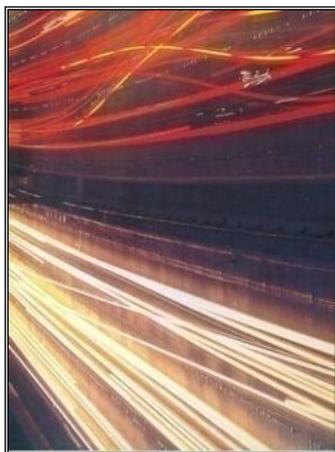
**Нанокomпьютеры**, имплантированные в клетки мозга человека, смогут уничтожить атеросклероз, и намного увеличить скорость мыслительных процессов человека, особенно пожилого.

### 3. Квантовые компьютеры



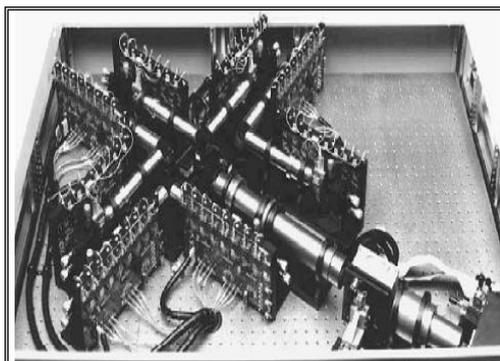
**Квантовые устройства**, называемые атомными и молекулярными генераторами, (*мазерами*), обладают чрезвычайно высокой стабильностью частоты излучаемых ими электромагнитных волн, что используется для точного измерения времени. Принцип действия **квантовых компьютеров** основан на свойстве квантовых битов (*кубитов*) одновременно находится в разных квантовых состояниях, т.е. представлять собой не «0» или «1», а их суперпозицию. Экспериментальная модель **Orion** канадской компании **D-Wave** состоящая всего из 16 кубит, способна выполнять 64 000 операций одновременно, а компьютеры, имеющие сотни кубит, смогут параллельно обрабатывать огромное число процессов, превышающее количество атомов во Вселенной. Появление квантовых компьютеров приведет к изменению системы компьютерной безопасности, т.к. ни один пароль не сможет устоять перед их неограниченной способностью перебора вариантов.

### 4. Оптические и фотонные компьютеры



Этому способствовал ряд блестящих достижений фундаментальной науки в области **голографии, радиофизики, нелинейной оптики и параметрики**. Производительность оптических компьютеров, в котором информация обрабатывается со скоростью света, на много порядков превышает возможности современных ЭВМ, работающих на полупроводниковой элементной базе.

Очевидны многочисленные преимущества использования энергии света для задач передачи и обработки информации. К ним относятся: возможность параллельной передачи и обработки изображений одним световым пучком, возможность использования прозрачных сред для хранения, обработки и коммутации информации, возможность использования явления поляризации, возможность одновременной, параллельной работы с различными длинами волн и, наконец, технологический прорыв – **возможность работы на очень высокой опорной частоте излучения (порядка 1000 ТГц)**.

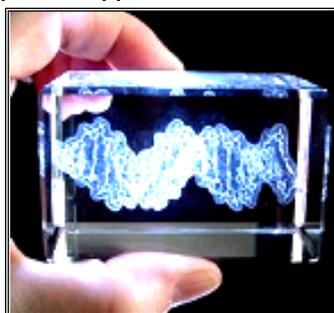
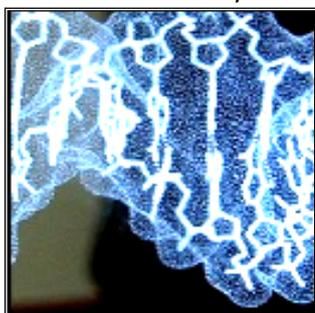


Изображённый на рисунке оптический компьютер DOC-II, разработанный знаменитой компанией «Bell Laboratory», может при поиске ключевого слова в Интернете или базах данных проверять до 80 тысяч страниц текста в секунду. Вместо привычного монитора будет генерироваться трёхмерное голографическое изображение, как в известных фантастических фильмах «Звёздные войны», «Аватар» и др. Так, научная фантастика снова даёт толчок реальной науке, и мечта становится реальностью.

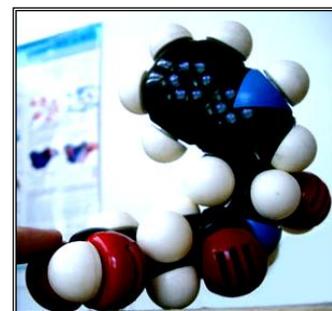
### 5. Биологический нанокomпьютер

Выдающиеся способности **биологических молекул** к хранению и обработке информации уже около десятилетия привлекают внимание ученых, пытающихся отыскать наиболее достойную замену компьютерным микросхемам на основе кремния. Ведь **ДНК**, знаменитая молекула в форме двойной спирали, присутствует в ядрах всех живых клеток и способна, занимая объем в один кубический сантиметр, содержать информации больше, чем триллион компакт – дисков. Постепенно двигаясь по пути создания программируемых компьютеров на основе молекул ДНК, ученые – исследователи приближают эпоху, когда живые вычислительные машины смогут уместиться в одной клетке человеческого организма.

Подобный **биологический нанокomпьютер** будет настолько микроскопически мал, что триллион таких **ДНК – компьютеров** может работать одновременно по принципу параллельных вычислений, находясь в единственной капле воды.

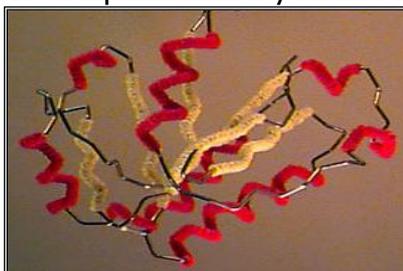
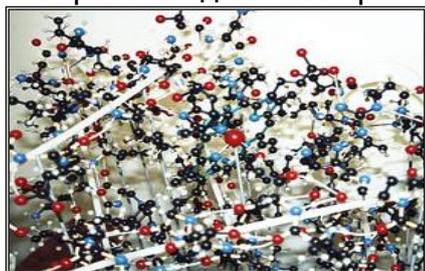


Моде-  
ли мо-  
лекул  
ДНК  
(зна-  
мени-  
тая  
двой-



ная спираль)

Теоретические расчеты дают основания предполагать, что **ДНК – компьютеры**, в конечном счете, способны превзойти кремниевые чипы в решении массивно-параллельных задач, требующих одновременного выполнения множества сходных операций. Заманчивые перспективы **бионанокomпьютеры** сулят в медицине и фармакологии. Однако недавняя работа исследователей, опубликовавших статью в журнале **Nature**, показывает, что ученые уже научились создавать несложные программируемые вычислительные устройства, способные работать в условиях натурального биологического окружения клетки живого организма. В суммарном подсчёте коллективная вычислительная мощь биологических нанокomпьютеров в устройстве составляет миллиард операций в секунду при точности вычислений более 99,8%. Затраты же энергии на эти вычисления составляют менее одной миллиардной доли ватта, что делает возможным функционирование таких бионанокomпьютеров внутри человеческого тела. **ДНК-компьютеры** создаются последние годы во многих научных центрах мира, пытающихся объединить потенциал **биологии** и **информационных технологий**. Сильнейший толчок этим работам дали эксперименты американского учёного **Леонарда Эдмана**.



Бионанокomпьютеры на основе молекул ДНК

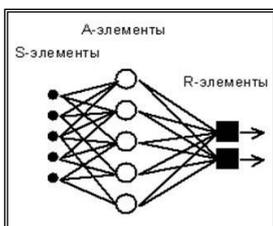
## 6. Нейронные компьютеры (нейрокомпьютеры)



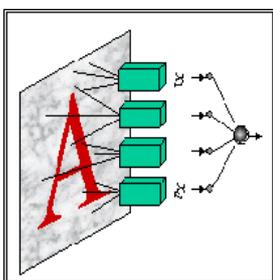
Мозг и нервная система живых организмов позволяют решать задачи управления и эффективно обрабатывать сенсорную информацию, а это огромное преимущество для создаваемых вычислительных систем. Именно это послужило предпосылкой создания **ИСКУССТВЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ** на базе **НЕЙРОННЫХ СИСТЕМ ЖИВОГО МИРА**. Специалисты в области искусственного интеллекта, добившись результатов в области биологических нейронных систем, создадут нейронный компьютер с огромными возможностями, способный к самообучению и развитию, т.е. **«МЫСЛЯЩИЙ КОМПЬЮТЕР»**.

Создание компьютера на основе нейронных систем живого мира базируется на теории **персептронов**, разработчиком которой был американский учёный **Фрэнк Розенблатт**. Персептрон – это искусственная нейронная сеть, способная распознавать образы.

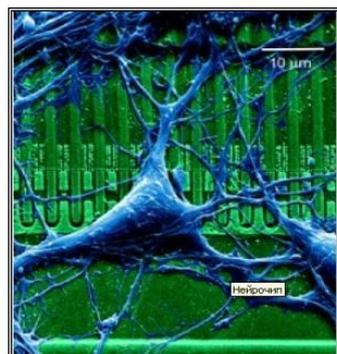
**Нейрокомпьютеры** – это совершенно новый тип вычислительной техники, иногда их называют **биологическими компьютерами**. Их можно построить на базе **нейрочипов**, которые функционально ориентированы на решение конкретной задачи. Для решения задач разного типа требуется нейронная сеть различной топологии. Возможна **эмуляция** нейрокомпьютеров, как программная эмуляция на ЭВМ и суперЭВМ, так и программно – аппаратная эмуляция на цифровых сверхбольших интегральных схемах. Развитие **нейрокомпьютерной технологии** приведет к созданию мощных вычислительных систем, решающих сложнейшие задачи управления и параллельной обработки информации.



Первые персептроны, предложенные Розенблаттом в 1958г., имели два слоя нейронов. Однако собственно обучающимся был лишь один, последний слой. Первый (скрытый) слой состоял из нейронов с фиксированными случайными весами. Эти ассоциирующие нейроны получали сигналы от случайно выбранных точек рецепторного поля. В этом признаковом пространстве персептрон осуществлял распознавание подаваемых на вход образов.

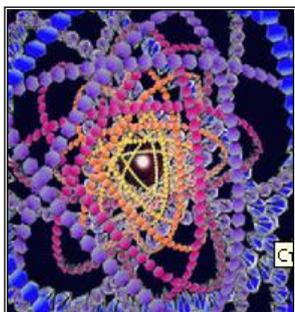


Преимущества нейрокомпьютеров учёные видят в том, что все алгоритмы нейронной информатики высоко параллельны, что является залогом высокого быстродействия. Нейронные системы очень устойчивы к помехам и разрушениям. Надёжные нейронные системы могут создаваться даже из ненадёжных элементов, имеющих значительный разброс параметров. Нейронная система способна эффективно самообучаться. Результаты обучения нейронной сети позволяют решать сложные задачи за несколько тактов – наносекунд. Типичные области применения нейрокомпьютеров – управление в реальном времени, распознавание образов и прогнозирование.



Различные нейронные чипы, интерфейсы и имплантаты, разработанные сегодня, будут усовершенствованы, и их биологическая совместимость с нервными тканями человека станет более полной. Тогда наступит долгожданное время настоящей виртуальной реальности и полноценного взаимодействия с компьютерами через нервную систему человека, когда управление любой аппаратурой станет возможным с помощью импульсов головного мозга человека. Возможности мыслительных процессов будут практически неограниченно расширены путём взаимодействия мозга с компьютерными сетями и подключения к компьютерным хранилищам информации.

## 7. Интеллектуальные компьютеры



**Интеллектуальными** называются компьютеры, способные решать **интеллектуальные задачи** и не способные нанести вред человечеству. Они включают в себя персональные компьютеры, оснащенные дополнительным программным обеспечением и персональной памятью, подключенной к широкополосной информационной сети. На сегодня носителями **искусственного интеллекта** являются перспективные ЭВМ, экспертные системы, роботы, а также интеллектуализированные телекоммуникации.

Сами интеллектуальные компьютеры не создают новую информацию, но увеличивают интеллектуальный потенциал человека. Сохраняя, трансформируя и перенося знания, они тем самым увеличивают интеллектуальные возможности человечества.

Компьютеры в виде **систем искусственного интеллекта (ИИ)** рождают так называемый **социальный интеллект** как единую целенаправленную творческую систему. Существуют различные подходы к построению систем ИИ: **логический, структурный, эволюционный, имитационный**. Нейрокомпьютеры также относятся к области искусственного интеллекта. Чаще всего встречаются смешанные системы ИИ, где одна часть работ выполняется по одному принципу, а вторая – по-иному.



Значительная часть используемых сегодня роботов обладает зачатками искусственного интеллекта. Они могут ориентироваться в окружающей обстановке, выбирать маршрут движения и распознавать нужные объекты, даже играть в спортивные игры.

**Технологии машинного зрения и распознавания образов** применяются в устройствах автоматики и в системах безопасности.

**Экспертные системы** используются, например, в геологии, для поиска полезных ископаемых, в медицине, при диагностике заболеваний, в юриспруденции, где юридические программы, содержащие законодательную базу, выносят решения по мелким правонарушениям и дают консультации по сложным законам. Технологии на основе ИИ используются для перевода текстов на иностранном языке, проверки правописания, распознавания речи. Компьютерные системы с искусственным интеллектом управляют промышленными объектами – заводами, атомными станциями, транспортом. Крупнейшие финансовые организации используют интеллектуальные программы для прогнозирования положения дел, и сверхбыстрого принятия эффективных решений на фондовых и валютных рынках. Искусственный интеллект широко применяется в тренажеростроении и в компьютерных играх.



**Искусственный интеллект** с его компьютерами и телекоммуникационными системами формирует **коллективный разум человечества, создает единый социальный интеллект (ноосферу, о которой писал ещё А.Н. Вернадский)**, эффект которого находится намного выше суммы отдельных интеллектов, его образующих. Человечество, как сложная система, приобретает известное в математической теории сложных систем синергетическое свойство «эмерджентности», т.е. становится «надсистемой» – **СВЕРХСИСТЕМОЙ РАЗУМА**.