

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра антенн и устройств СВЧ

А.А. Кураев

Теория и практика научных исследований

Текст лекций
для магистрантов и аспирантов

Минск 2005

УДК 001.8 (075.8)
ББК 72 я 73
К 93

Р е ц е н з е н т ы:

зав. кафедрой радиотехнических устройств,
доктор технических наук, профессор В.А. Чердынцев,
зав. кафедрой вычислительных методов и программирования,
доктор физико-математических наук, профессор А.К. Сеницын

Кураев А.А.

К 93 Теория и практика научных исследований: Текст лекций для магистрантов и аспирантов. – Мн.: БГУИР, 2005. – 103 с.: ил.
ISBN 985–444–795–2

В работе изложены основные положения курса «Теория и практика научных исследований»: планирование научных исследований (НИ); приоритетные направления НИ; классификация НИ: естественные, технические, гуманитарные и социальные науки, наука и псевдонаука, финансирование НИ, методология исследований, научная логика, гипотеза и опыт, интуиция и анализ, постулаты, изоморфность, наука и эстетика, вычислительный эксперимент.

УДК 001.8 (075.8)
ББК 72 я 73

ISBN 985–444–795–2

© Кураев А.А., 2005
© БГУИР, 2005

Содержание

1. Планирование научных исследований: Pro и Contra
 - 1.1. Pro
 - 1.2. Contra
 2. Приоритетные направления научных исследований Республики Беларусь
 3. Организация научно-исследовательских работ в Республике Беларусь
 - 3.1. Научные учреждения
 - 3.2. Подготовка кадров высшей научной квалификации в БГУИР
 - 3.3. Структура НИЧ БГУИР
 4. Классификация научных исследований
 5. Естественные, технические, гуманитарные и социальные науки. Наука и псевдонаука. Ремесло и наука
 6. Теоретические, экспериментальные НИР и конструкторско-технологические разработки
 7. Финансирование НИР
 - 7.1. Научно-исследовательский потенциал и сотрудничество на современном этапе
 - 7.2. Международные и национальные гранты, фонды и программы
 - 7.3. Общие принципы функционирования фондов, классификация, виды финансовой поддержки
 - 7.4. Фонды и грантодатели
 - 7.5. ИНТАС
 - 7.6. Совет по международным исследованиям и обменов IREX
 - 7.6.1. Программа стипендий им. Фулбрайта
 - 7.6.2. Программа аспирантских стипендий им. Эдмунда Маски
 - 7.6.3. Программа «Актуальные вопросы современности»
 - 7.6.4. Программа «Региональные ученые»
 8. Отличительные признаки научных исследований: актуальность темы, научная новизна результатов, практическая значимость
 9. Методология исследований. Научная логика
 10. Триединство мышления: логическое, образное, ассоциативное
 11. Взаимосвязь и взаимопроникновение различных областей науки
 12. Специализация и разносторонность
 13. Гипотеза и опыт
 14. Интуиция и анализ
 15. Постулаты
 16. Изоморфность
 17. Свобода, наука, эстетика
 18. Пределы применения математики как средства отражения реальности
 19. Вычислительный эксперимент
 - 19.1. Сфера применения вычислительного эксперимента
 - 19.2. Цикл вычислительного эксперимента
 - 19.3. Особенности программной реализации
 - 19.4. Пример применения вычислительного эксперимента
- Литература

1. ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: Pro и Contra

1.1. Pro

Научный потенциал государства является фундаментом его промышленности, экономики, обороны и культуры, в том смысле, что определяет прогресс и уровень развития в этих областях. Поэтому государство не может отстраниться от регулирования в той или иной форме научных исследований (НИ), создающих научный потенциал страны. Формы этого регулирования, выражающиеся в планировании НИ, весьма разнообразны и осуществляются определенными органами и организациями: Советом Министров, комиссиями и комитетами по науке и технике, национальными академиями наук, министерствами образования и научными советами вузов, концернов, отраслевых НИИ и КБ, ведущих предприятий отрасли. Формы этого планирования могут быть разными.

1. *Административные*: утверждение приоритетных направлений и планов НИР; регламентирование рабочего дня сотрудников, вменяющее им в обязанность выполнение НИ по утвержденным направлениям; инициирование «внедрений» НИР путем материальных поощрений; организация подготовки кадров высокой и высшей квалификаций и т.д.

2. *Научно-общественные*: координационные и экспертные советы по научным областям, состоящие из ведущих ученых в этих областях, которые определяют приоритетные направления НИ; научные и научно-технические советы академических институтов, университетов, НИИ, КБ, определяющие или формирующие планы НИ своих организаций; советы по защитах диссертаций и Высшая аттестационная комиссия, контролирующая подготовку специалистов высшей квалификации

3. *Научные гранты*: Министерство образования, Фонд фундаментальных исследований, иностранные фонды на конкурсной основе, оказывающие финансовую поддержку авторам наиболее перспективных проектов НИ.

Оптимальный баланс этих трех форм регулирования и планирования НИ в принципе может обеспечить наилучшее развитие НИ в наиболее важных и перспективных направлениях.

1.2. Contra

Однако оптимальный баланс вряд ли достижим по следующим причинам:

1. Административным органам прежде всего необходима «отдача» от НИ за счет их коммерциализации, т.е. продажи конечного продукта НИ в виде наукоемкой продукции и изделий, причем желательно за валюту – за рубеж. Излишнее рвение в этом направлении приводит к «проеданию» научных результатов НИР, к ослаблению или вообще к прекращению «не-

престижных» поисковых НИР по фундаментальным направлениям, которые и определяют прогресс в науке и обществе:

Свинья под Дубом вековым
Наелась желудей досыта, до отвала;
Наевшись, выпалась под ним;
Потом, глаза продравши, встала
И рылом подрывать у Дуба корни стала.
«Ведь это дереву вредит, –
Ей с Дубу ворон говорит, –
Коль корни обнажишь, оно засохнуть может». –
«Пусть сохнет, – говорит свинья, –
Ничуть меня то не тревожит;
В нем проку мало вижу я;
Хоть век его не будь, ничуть не пожалею,
Лишь были б желуди: ведь от них я жирею». –
«Неблагодарная! примолвил Дуб ей тут, –
Когда бы вверх могла поднять ты рыло,
Тебе бы видно было,
Что эти желуди на мне растут».

И.А. Крылов «Свинья под Дубом»

2. При принятии решений по приоритетным направлениям научными сообществами неизбежна определенная корпоративность: зрелый ученый, возглавляющий многие годы некое научное направление, а тем более группа таких ученых вряд ли согласится с тем, что это направление утратило перспективы.

Пример. Проблема термоядерного синтеза

Эта проблема, несомненно, одна из самых актуальных для человечества, поскольку ее решение эквивалентно кардинальному разрешению энергетической проблемы, своеобразный «билет в будущее» для грядущих поколений. Действительно, выделяемая при ядерной реакции синтеза энергия внушительна: энергетика дейтерия, содержащегося в 1 литре обычной воды, эквивалентна энергетике 300 литров бензина. Дейтерия, содержащегося в океанах, хватит на производство энергии 10^{20} кВт · лет. Это неизмеримо больше потребностей человечества на прогнозируемое время его существования (10^{10} кВт · лет). Однако научные направления разрешения указанной проблемы, естественно, могут весьма сильно различаться. Что же происходит на самом деле? На самом деле «развивается» только одно направление – «токамак». Обратимся сначала к описанию токамака.

Принципиальная схема токамака приведена на рис. 1.1.

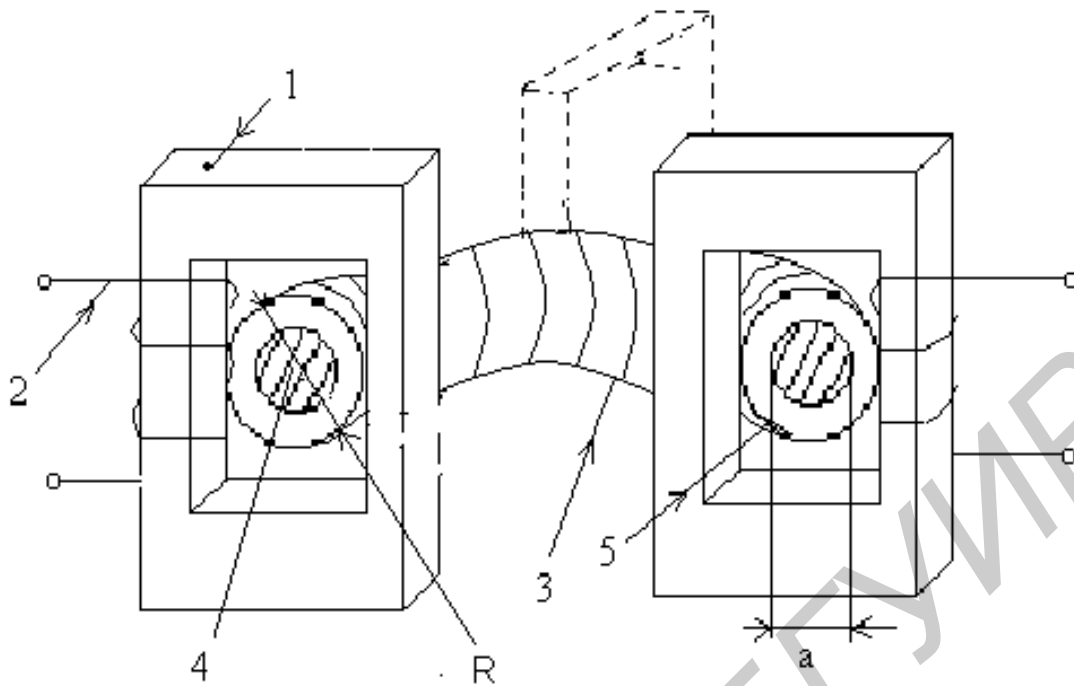


Рис. 1.1

На этой схеме обозначены следующие элементы:

- 1 – система электромагнитов поджига;
- 2 – обмотка питания электромагнита импульсного источника;
- 3 – кольцевой фокусирующий электромагнит;
- 4 – кольцевой плазменный шнур: Д + Д или Т + Д (в последнем случае нужны добавки лития), радиусом R и диаметром a ;
- 5 – оболочка тороидальной камеры реактора.

Первоначальная идея: необходимые для ядерной реакции условия – $T=10^8$ К, концентрация плазмы $N = 10^{14}$ см⁻³ – создаются за счет электроно-циклотронного нагрева на основе бетатронного механизма ускорения электронов: $\oint_e \vec{E} d\vec{l} = -d\Phi_m / dt$.

Оказалось:

а) Бетатронный механизм недостаточен по мощности и времени (в настоящее время используется СВЧ – нагрев гиротронами на f , большей ленгмюровской частоты плазмы: $f_0 = 9\sqrt{N}$ кГц = 90 ГГц).

б) Время разогрева велико: 22 с.

в) Магнит 3 не обеспечивает устойчивости плазменного шнура, и время удержания плазмы составляет в Т-15 около 1 с, после чего оболочка 5 разрушается.

Таким образом, до реакции дело не дошло. Такое направление финансируется уже более 50 лет. Как заметил один из участников программы, каждый новый этап достижений во времени удержания плазмы Д + Д или Т + Д показывает, что для достижения нового этапа затраты нужно увели-

чить в 100 раз. В середине 70-х годов стало ясно, что финансирование программы «Токамак» не под силу одному государству. С тех пор исследования финансируются большой группой государств и исследования централизованы. Основное препятствие в продвижении исследований – неустойчивости плазмы при $T = 10^8 \text{ K}^0$, которые трудно поддаются исследованию и математическому моделированию, поскольку физика многих из них неизвестна.

С другой стороны, также в середине 70-х годов 20-го века был предложен альтернативный проект «Ангара» (Томск – Красноярск). В этом проекте обходится задача удержания термоядерной плазмы: процесс извлечения энергии – тактовый.

Принципиальная схема проекта «Ангара» приведена на рис. 1.2.

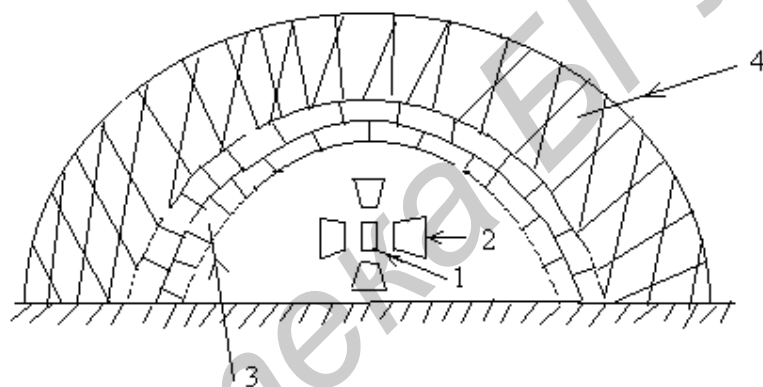


Рис. 1.2

Здесь указаны следующие элементы и детали:

1 – мишень – дьюар $D + T$ ($D + D$), выставляемый на место циклически;

2 – 12 релятивистских электронных потоков (РЭП) от ускорителей на взрывной эмиссии (диод с титановой фольгой в качестве анода, КПД = 100 %);

3 – кирпичный свод камеры;

4 – обкладка ураном 238 ($U-238$ – отработанное топливо с АЭС).

Принцип работы. В мишени 1 за счет энергии РЭП создаются условия для микроядерной реакции. Генерируемая тепловая энергия утилизируется. Но главный эффект – регенерация урана 238 в уран 235 – топливо для АЭС за счет мощного нейтронного потока при микроядерной реакции. Кроме того, производится и оружейный плутоний ($Pu-244$).

Таким образом, в проекте «Ангара» нет необходимости решать какие-либо принципиальные физические или технические проблемы. Более того, экспериментальный проект «Ангара» продемонстрирован в действии,

т.е. при реальном извлечении энергии из «зарядов»-дьюаров с Т + Д за счет ядерной реакции. Так в чем же дело? В том, что в проекте «Токамак» задействованы сотни тысяч (впрямую и по заказам) ученых, включая сотни именитых. В проекте «Ангара» – всего единицы. Вывод очевиден!

г) Эксперты в грантах, как правило, составляют сложившийся «коллектив», проводящий свою научную и финансовую политику. Кроме того, группы ученых экспертов оказывают «поддержку» друг другу.

За что же, не боясь греха,
Кукушка хвалит Петуха?
За то, что хвалит он Кукушку.

И.А. Крылов «Кукушка и Петух»

Наконец, против планирования НИ в принципе часто выступают с позиций непредсказуемости путей развития науки.

И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель.

А.С. Пушкин

Действительно, многие открытия непредсказуемы, они появились благодаря удаче и богу-случаю.

Примеры

1. Ганс Эрстед (15.02.1820 г.) – открытие магнитного поля постоянного тока: студент на лекции Эрстеда заметил отклонение стрелки компаса (не относящегося к демонстрационному опыту, случайно оказавшегося на столе).

2. Майкл Фарадей (29.08.1831 г.) – открытие электромагнитной индукции. Помощник Фарадея сержант Андерсен зафиксировал «неправильность» эффектов в опыте.

3. Флеминг (1929) – открытие пенициллина: грибковая спора оказалась случайно вблизи чашки Петри. И случайно – это как раз тот грибок!

4. Ганн (1960) – диод Ганна – неустойчивость тока в образце арсенида галлия.

5. Кислов (1975) – странный аттрактор.

6. Гуляев–Синицын (1990) – аномальная автоэмиссия карбоновых нанотрубок.

И эти открытия (вместе с другими, тоже во многом «случайными») создали современное «лицо» человеческой цивилизации!

Вообще говоря, первенство во введении приоритетных направлений НИ следует отдать...Адольфу Гитлеру. Именно он впервые принял «умное» решение: при ограниченных средствах в условиях подготовки и веде-

ния войны нужно выделить приоритетные направления НИ, которые дадут отдачу в течение 6 месяцев. Те же, от которых отдачи пока не видно, следует закрыть. К ним, в частности, были отнесены: а) создание стратегической (дальней) авиации; б) создание мощных СВЧ-приборов сантиметрового диапазона; в) ядерные исследования. К счастью для человечества, конечно. Иначе Гитлер мог бы и выиграть войну.

Подведем итоги

1. Противоречия планирования стираются (т.е. Pro и Contra в некотором смысле независимы, влияние Contra несущественно), если финансирование науки избыточно, т.е. когда удовлетворены потребности и приоритетных, и «сомнительных», и «бесполезных» исследований. Тогда прогресс НИ обеспечен в полной мере, дело только за человеческим фактором. Однако такое расточительство недоступно даже очень богатым странам.

2. Следовательно, нужно приветствовать и совершенствовать «Pro» и по возможности ослаблять все факторы «Contra». В частности, в качестве приоритетных направлений должны называться достаточно широкие и емкие по наименованию области НИ. Это даст возможность принять под эгиду приоритетных и новые, пока неясные по перспективам зарождающиеся НИ. В общем, как будет видно из перечня приоритетных направлений НИ Республики Беларусь, так и делается. Основной же положительный момент заключается в том, что нет запретительных списков направлений НИ.

Кроме того, утверждать планы работ следует на длительные сроки: перспективность НИ должна отслеживаться на отрезках 4–6 лет. И при необходимости планы должны меняться.

Мы говорили о глобальном в рамках государства планировании НИ. Здесь наше участие есть, но весьма ограниченное. Но не нужно забывать о планировании собственных НИ, где и проблемы планирования и ответственность за качество НИ целиком лежат на нас. И проблемы эти весьма насущны.

а) Как рационально выбрать последовательность работ? Из какого задела исходить?

б) Какие методы использовать? Какие пути достижения результата избрать?

в) Как эффективно использовать выделенные средства (штаты, оборудование, материалы, командировки, соисполнители и т.д.)?

Эти проблемы в той или иной степени мы рассмотрим в нашем курсе.

2. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Здесь мы обратимся к официальным документам

ОДОБРЕН

решением Комиссии по вопросам
научно-технической политики
при Совете Министров Республики
Беларусь 27.12.1999 г. протокол
№ 05/318/2, п. 3

Перечень приоритетных направлений фундаментальных научных исследований Республики Беларусь на 2001–2005 годы

1. Физико-математические науки

- 1.1. Лазерная физика. Проблемы использования лазерного излучения.
- 1.2. Микро- и оптоэлектроника, наноструктуры.
- 1.3. Оптика и спектроскопия. Исследование строения и свойств вещества.
- 1.4. Радиофизика. Генерация радиоволн, их распространение, прием и обработка.
- 1.5. Физика элементарных частиц, атомных ядер и фундаментальных взаимодействий.
- 1.6. Физика плазмы и плазменные технологии.
- 1.7. Физика твердого тела. Основы создания новых материалов.
- 1.8. Нелинейная динамика систем.
- 1.9. Исследование алгебраических и дифференциальных свойств математических структур, вычислительная математика и математическое моделирование.
- 1.10. Информатика. Теоретические основы информационных технологий, моделирование интеллектуальных процессов. Обработка информации.

2. Технические науки

2.1. Процессы получения и обработки материалов для современной техники.

Новые многофункциональные и специализированные материалы. Высокоэнергетические технологии обработки материалов с использованием лазерного, плазменного, электронно- и ионно-лучевого, электроэрози-

онного, ультразвукового и импульсного воздействия. Материалосберегающие технологии. Материалы и технологии литья.

2.2. Физика, химия и механика поверхности.

Межфазные взаимодействия, трибология, коррозионные процессы, управление структурой и свойствами поверхности, в том числе на наноструктурном уровне. Получение поверхностных слоев с особыми свойствами.

2.3. Машиностроение и приборостроение.

Механика машин, надежность и безопасность технических систем. Теория проектирования, технологии испытаний на основе компьютерных методов расчета и моделирования. Научные основы и методы неразрушающего контроля, технической диагностики, мониторинга состояния окружающей среды. Основы научного приборостроения.

2.4. Физико-технические проблемы энергетики.

Теплофизика и теплоэнергетика. Тепломассоперенос в капиллярно-пористых телах, дисперсных системах, реологических и неравновесных средах, турбулентных неоднородных потоках, низкотемпературной плазме, при взаимодействии излучения с веществом и при фазовых и химических превращениях. Научные основы энергосбережения и эффективного использования энергии.

3. Химические науки

3.1. Химия полимеров.

Получение и физикохимия волокон, мембран, тонкопленочных материалов, растворимых, химически активных и природных полимеров, конструкционных полимерных материалов.

3.2. Органический синтез.

Лекарственные вещества и средства защиты растений, функциональные полиненасыщенные соединения, алифатические, циклические, ациклические, гетероциклические и элементоорганические соединения. Термодинамика органических соединений.

3.3. Химия неорганических материалов.

Адсорбенты, катализаторы, керамические, стеклообразные, вяжущие, композиционные и тонкопленочные материалы, нанокристаллические и аморфные системы.

3.4. Физикохимия дисперсных систем.

Концентрированные солевые и органоминеральные системы, поверхностно-активные вещества, суспензии, эмульсии и пены, неорганические коллоиды.

3.5. Химия белков, нуклеиновых кислот и низкомолекулярных биорегуляторов.

Химическая структура и функционирование биополимеров и низкомолекулярных биорегуляторов.

4. Науки о Земле

4.1. Строение и эволюция земной коры запада Восточно-Европейской платформы (геологические структуры Беларуси, минералогия и экогеологические процессы).

4.2. Генезис, закономерности размещения месторождений полезных ископаемых Беларуси и обоснование целесообразности их освоения. Национальная система мониторинга полезных ископаемых Республики Беларусь.

4.3. Комплексная оценка состояния и прогноз изменений природных ресурсов, эколого-безопасные технологии их освоения и использования.

4.4. Теоретические основы функционирования и оптимизации геоэкосистем.

4.5. Миграция радионуклидов в компонентах окружающей среды, прогнозирование этих процессов. Реабилитация радиоактивно загрязненной территории.

5. Биологические науки

5.1. Биологическое разнообразие, проблемы экологии и ксенобиологии. Динамика сообществ растений и животных, принципы поддержания и использования биологического разнообразия. Механизмы функционирования, устойчивости и продуктивности экосистем. Биологические ресурсы, основы их воспроизводства, рационального использования и охраны. Физиолого-биохимические и генетические аспекты влияния чужеродных соединений и радионуклидов на живые системы разных уровней организации; биотрансформация и деградация ксенобиотиков.

5.2. Генетические, физиологические и биохимические механизмы жизнедеятельности растений и животных.

Молекулярно-генетическая организация и функционирование геномов растений и животных. Генетические, физиологические и биохимические проблемы продуктивности и устойчивости растений и животных. Теоретические основы селекции. Создание генетического фонда растений. Проблемы сохранения и использования генетического разнообразия.

5.3. Научные основы биотехнологических процессов и биологической безопасности.

Генетическая и клеточная инженерия растений и микроорганизмов. Селекция и создание коллекции непатогенных микроорганизмов как биотехнологических агентов. Микробный синтез биологически активных соединений и проблемы использования микроорганизмов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и охране окружающей среды. Проблемы безопасности.

5.4. Физико-химическая биология и регуляторные механизмы функционирования биосистем.

Фотобиология растений и фотосинтез. Биогенез фотосинтетического аппарата. Физика и химия фотосинтетических пигментов. Фоторецепторные процессы и механизмы трансдукции в растительных и животных клетках. Структура, функции, динамика биополимеров и биологических мембран. Молекулярно-мембранные механизмы регуляции внутриклеточных процессов.

6. Медико-биологические науки

6.1. Механизмы регуляции физиологических функций в норме и патологии. Теоретические основы управления компенсаторно-восстановительными процессами.

Механизмы гомеостаза. Механизмы развития патологических процессов. Регуляция процессов жизнедеятельности химическими и физическими средствами. Восстановление нарушенных функций реабилитационными мероприятиями.

6.2. Действие факторов современных экосистем и образа жизни на физиологический статус и здоровье человека.

Проблема защиты генетического фонда населения Республики Беларусь. Проблема повышения резервных возможностей организма при действии факторов современных экосистем. Онтогенетические аспекты физиологического статуса и здоровья человека в условиях действия факторов современных экосистем.

6.3. Медико-биологические проблемы последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Выяснение механизмов и последствий сочетанного действия внешнего и внутреннего облучения на организм. Поиск и разработка средств повышения радиоустойчивости организма.

7. Сельскохозяйственные науки

7.1. Проблемы устойчивости и оптимизации агроэкосистем.

7.2. Биологические основы создания высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур и пород животных, повышения качества сельскохозяйственной продукции на основе целенаправленного конструирования генетического материала и использования генной инженерии.

7.3. Закономерности формирования иммунитета у животных и растений, механизмы развития иммунопатологии и способы ее профилактики при техногенных нагрузках.

7.4. Процессы формирования и функционирования агро- и зоообъектов и биоценозов под действием техногенных факторов и радионуклидов.

7.5. Математическое моделирование и оптимизация условий и процессов функционирования сельскохозяйственных машин, агрегатов, технических комплексов и энергетических систем.

7.6. Повышение продуктивности водных экосистем и гидробионтов.

7.7. Научные основы тепло- и массопереноса в грунтовых теплообменниках и регулирования температурно-влажностных параметров среды в теплицах и хранилищах сельскохозяйственной продукции.

7.8. Проблемы переработки и использования продовольственного сырья и создания продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой и биологической ценности.

7.9. Экономические закономерности формирования эффективного рыночного аграрного хозяйственного механизма.

8. Гуманитарные и социальные науки

8.1. История Беларуси от древности до нашего времени.

8.2. Проблемы цивилизационного развития стран и народов мира.

8.3. Белорусский язык на различных этапах его развития.

8.4. Сравнительно-историческое и структурно-типологическое исследование языков (индоевропейских, особенно славянских).

8.5. Литература как отражение национально-духовного развития белорусского народа.

8.6. Искусство, фольклор и этнокультурные традиции Беларуси.

8.7. Социальные и политические процессы в Беларуси и современном мире.

8.8. Методология естественных, гуманитарных и социальных наук.

8.9. Философско-мировоззренческие предпосылки социального прогресса.

8.10. Развитие белорусской государственности и правовые основы формирования демократического общества.

8.11. Теоретические проблемы развития национальной экономики на современном этапе.

8.12. Социальные, правовые и психолого-педагогические проблемы воспитания и обучения.

**Перечень
приоритетных направлений создания и развития новых и высоких
технологий, перспективных производств, основанных на таких
технологиях, на 1997–2010 годы**

Информационные технологии и электроника

Системы распознавания и синтеза речи, текста и изображений.
Системы искусственного интеллекта.
Информационные и телекоммуникационные системы.
Микросхемная техника и микросенсорика.
Сверхбольшие интегральные схемы и микроэлектроника, включая
технологическое оборудование.
Компьютерные технологии проектирования и управления.

Производственные технологии

Прецизионные технологии.
Технологии, основанные на высококонцентрированных потоках
энергии (лазерные, электронно-плазменные и ионно-плазменные техноло-
гии, высокотемпературный синтез).
Технологии, основанные на применении новых видов сырья, конст-
рукционных материалов, катализаторов, снижении норм расхода сырьевых
и топливно-энергетических ресурсов, включая технологическое оборудо-
вание.

Новые материалы и химические продукты

Материалы для микро- и наноэлектроники.
Композиционные материалы и материалы с особыми свойствами.
Синтез новых химических соединений.
Нанокристаллические и аморфные материалы и технологии их полу-
чения.

Биотехнологии

Химический и биологический синтез фармацевтических средств
биологически активных соединений и пищевых добавок.
Трансгенные формы растений и животных.
Биологические средства питания и защиты растений и животных.

Биотехнологические процессы производства, переработки и хранения сельскохозяйственного сырья.

Топливо и энергетика

Нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Энерго- и ресурсосберегающие технологии межотраслевого применения, включая технологическое оборудование.

Экология и рациональное природопользование

Обеспечение безопасности продукции, производств и объектов.

Реабилитация окружающей среды и минимизация экологических последствий трансграничного воздействия.

Сельское хозяйство

Технологии селекции новых сортов растений и пород сельскохозяйственных животных.

Макро- и микробиотехнологии сельскохозяйственного производства на интенсивном уровне.

Технологии создания новых поколений средств иммунодиагностики, профилактики и лечения сельскохозяйственных животных.

Другие технологии

Квантовая оптика и оптика, включая технологическое оборудование.

Нанотехнологии, включая технологическое оборудование.

Технологии тонкого химического синтеза, включая технологическое оборудование.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

3.1. Научные учреждения

Высшим научным учреждением Республики Беларусь является Национальная академия наук, осуществляющая фундаментальные научные разработки в области общественных и естественных наук и координирующая такие исследования во всех научных учреждениях и высших учебных заведениях страны.

В составе Академии, основанной в 1929 г., сейчас насчитывается более 50 научных учреждений: институтов, отделов, центров. Для реализации результатов научных исследований Национальная академия наук Беларуси владеет сетью самостоятельных или подчинённых институтам специальных конструкторско-технологических подразделений, опытных производств.

Для обеспечения научных исследований имеются Центральная научная библиотека, издательство «Наука и техника» и типография. Академические учреждения действуют во всех областных центрах республики.

Научно-методическое руководство своими учреждениями Академия проводит через шесть отделений:

- физики, математики и информатики;
- физико-технических наук;
- химических наук и наук о Земле;
- биологических наук;
- медицинско-биологических наук;
- гуманитарных наук и искусств.

Основные цели Национальной академии наук изложены в её уставе и сводятся к следующему:

- проведение, развитие и координация фундаментальных научных исследований в Республике Беларусь;
- изучение актуальных проблем экономического, социального и культурного развития республики;
- повышение эффективности использования научных достижений;
- подготовка научных кадров высшей квалификации;
- усиление влияния науки на развитие образования, духовной культуры белорусского народа и повышение его интеллектуального потенциала.

Национальной академии наук подчинён ряд научно-исследовательских институтов, выполняющих исследования по важнейшим направлениям фундаментальных наук, непосредственно влияющих на состояние дел в соответствующих отраслях производства. Важнейшими задачами институтов является проведение по своему профилю фундаментальных исследований, подготовка рекомендаций по использованию результатов исследований в народном хозяйстве, участие в их внедрении.

Наряду с проведением научных исследований институт координирует работу других исследовательских учреждений по соответствующей его профилю тематике, готовит научные кадры, организует конференции и совещания, издаёт сборники трудов и другие материалы с информацией о полученных научных результатах. Основными структурными подразделениями институтов являются отделы, лаборатории, секторы, центры и др.

В отраслях народного хозяйства функционируют отраслевые институты, занимающиеся в основном решением актуальных проблем отрасли. Такие научно-исследовательские организации выполняют главным образом прикладные исследования, которые служат каналом для обеспечения связи науки с производством. Здесь на основе результатов фундаментальных работ определяют направления технического прогресса, формируют техническую политику, разрабатывают и испытывают новые технологии и новые виды изделий. Отраслевой институт даёт экспертные заключения по важнейшим видам продукции, обобщает зарубежный опыт, руководит разработкой прогнозов развития техники и производства. Отраслевые научно-исследовательские учреждения непосредственно подчиняются соответствующим министерствам. Получили развитие своеобразные научно-производственные объединения, включающие научно-исследовательский институт, специальное конструкторское бюро и производственное подразделение (производство, завод и т.д.).

Значительный объём научных исследований выполняют высшие учебные заведения страны. Часть из них входит в систему Министерства образования Республики Беларусь, другая часть подчинена отраслевым министерствам (медицинские и сельскохозяйственные вузы, аграрно-технический университет и др.).

Проведение в вузах научных исследований и осуществление подготовки специалистов для народного хозяйства тесно связаны между собой. Научные исследования в вузах дают возможность преподавателям активно участвовать в решении актуальных проблем и являются важнейшим средством улучшения подготовки специалистов.

Одним из преимуществ вузов при выполнении научных исследований перед другими научными организациями является наличие в их составе учёных и специалистов различного профиля, что позволяет проводить комплексные исследования на стыке научных дисциплин, обеспечивать мобильность научных коллективов.

К выполнению научных исследований в вузе привлекается профессорско-преподавательский состав, составляющий основное ядро высшей школы. В вузах, обеспечивающих высокую эффективность научных исследований по актуальным направлениям, организуются научные учреждения – проблемные научно-исследовательские лаборатории, а в некоторых случаях и самостоятельные научные учреждения (НИИ).

На кафедрах, в проблемных лабораториях и НИИ разрабатываются в основном фундаментальные и поисковые темы. Прикладные исследования выполняются, как правило, профессорско-преподавательским составом в

свободное от основной работы время за дополнительную оплату на основе хозяйственных договоров с организациями и предприятиями. Для выполнения хозяйственных работ кафедры имеют право привлекать дополнительных штатных работников, совместителей, учебно-вспомогательный персонал, аспирантов и студентов.

Концентрация научных исследований на кафедрах, в научных учреждениях вузов под руководством высококвалифицированных учёных с одновременной подготовкой научной смены через аспирантуру, возможность отбирать и оставлять в вузах наиболее талантливых выпускников создают благоприятные условия для формирования в вузах научных школ, имеющих высокий авторитет в соответствующих областях знаний.

Задачи, выдвигаемые современным производством перед инженерными кадрами, настолько сложны, что их решение требует творческого поиска, исследовательских навыков. В связи с этим современный специалист должен владеть не только необходимой суммой фундаментальных и специальных знаний, но и определёнными навыками творческого решения практических задач, постоянно повышать свою квалификацию, быстро адаптироваться к изменяющимся условиям. Все эти качества необходимо формировать в вузе. Воспитываются они через активное участие студентов в научно-исследовательской работе.

В современных условиях научно-исследовательская работа студентов (НИРС) превращается из средства развития творческих способностей наиболее успевающих и одарённых студентов в систему, позволяющую повысить качество подготовки всех специалистов с высшим образованием.

В связи с этим формы и методы привлечения студентов к научному творчеству можно разделить на научно-исследовательскую работу, включённую в учебный процесс и, следовательно, проводимую в учебное время в соответствии с учебными планами и рабочими программами (специальные лекционные курсы по основам научных исследований, различного вида учебные занятия с элементами научных исследований, учебно-исследовательская работа студентов), и научно-исследовательскую работу, выполняемую студентами во внеучебное время.

Учебно-исследовательская работа студентов (УИРС) выполняется в отведённое расписанием занятий учебное время каждым студентом по специальному заданию под руководством научного руководителя (преподавателя кафедры). Основной задачей УИРС является обучение студентов навыкам самостоятельной научной работы, ознакомление с реальными условиями труда в лабораториях, в научных коллективах. В процессе выполнения учебных исследований будущие специалисты учатся пользоваться приборами и оборудованием, самостоятельно проводить эксперименты, обрабатывать их результаты, применять свои знания при решении конкретных задач.

Для проведения учебно-исследовательской работы студентам отводится рабочее место в лаборатории, выдаются необходимые материалы и приборы. Тема и объём работы определяются индивидуально научным ру-

ководителем. Кафедра, включающая в свой учебный план УИРС, заранее разрабатывает тематику исследований, определяет состав соответствующих руководителей, готовит методическую документацию, рекомендации по изучению специальной литературы.

В состав научных руководителей включаются преподаватели, активно занимающиеся научной работой, научные сотрудники, инженеры и аспиранты.

Завершающим этапом УИРС является оформление отчёта, в котором студент излагает результаты своей научной работы. Отчёт защищается перед специальной комиссией с проставлением зачёта.

Перспективным направлением является создание в высших учебных заведениях студенческих научно-исследовательских лабораторий (СНИЛ), в которых ведутся научные исследования и одновременно организуется учебно-исследовательская работа студентов.

В некоторых вузах учебно-исследовательской работе предшествует специальный курс по основам организации и методике научных исследований, по организации библиографической и патентной работы (в дисциплинах «Введение в специальность», «Основы научных исследований» и др.).

Важной формой научно-исследовательской работы студентов, выполняемой в учебное время, является внедрение элементов научных исследований в лабораторные работы. При выполнении таких работ студент самостоятельно составляет план выполнения работы, подбирает необходимую литературу, проводит математическую обработку и анализ результатов, оформляет отчёт.

Научно-исследовательская работа студентов при курсовом и дипломном проектировании связана с разработкой специальных разделов с элементами научного поиска и включает исследования, выполняемые в процессе решения реальных задач конкретных предприятий. Такие дипломные проекты могут заканчиваться внедрением и в этом смысле действительно являются реальными.

Получает развитие выполнение комплексных дипломных проектов, разрабатываемых группой студентов-дипломников различных специальностей. Каждому студенту поручается выполнение отдельного самостоятельного раздела комплексного дипломного проекта. Общее руководство разработкой такого проекта осуществляется одной из ведущих кафедр, по каждому из разделов назначается свой руководитель от той кафедры, которая обеспечивает его разработку.

При защите комплексного дипломного проекта создаётся комиссия с участием представителей заказчика и вуза. Ею оценивается каждая тема дипломного проекта, выполненная отдельным студентом, а также принимается решение по проекту в целом и о возможности использования его на предприятии заказчика.

Многие кафедры вузов совместно с предприятиями составляют перечень «узких мест» производства, из которых затем формируют тематику

курсовых и дипломных проектов. Такой подход дает возможность эффективно использовать научный и творческий потенциал студентов для решения конкретных задач производства, повышает ответственность студентов за качество работы.

Научная работа студентов, выполняемая во внеучебное время, реализуется путём участия студентов в исследованиях по тематике плановых госбюджетных и хоздоговорных НИР кафедр и научных учреждений вузов, организации студенческих бюро и объединений типа студенческой научно-исследовательской лаборатории. СНИЛ могут выполнять конструкторские, технологические экономические задания, шефскую работу в школе, лекторскую работу по распространению знаний в области науки, техники, культуры.

Основной формой НИРС, выполняемой во внеучебное время, является привлечение студентов к научным исследованиям, проводимым кафедрами и научными учреждениями вуза по госбюджетной и хоздоговорной тематике. Обычно в группу, занимающуюся решением определённой научно-технической задачи, включается несколько студентов, как правило, различных курсов. Это позволяет обеспечить преемственность, непрерывность и четкую организацию их работы. Студенты старших курсов оформляются на должности техников либо лаборантов с оплатой и записью в трудовой книжке. Работа проводится по плану-графику, утверждаемому научным руководителем. Руководство работой студентов осуществляют преподаватели, научные сотрудники, инженеры и аспиранты, работающие в группе.

Студенты, успешно выполнившие задание по своему разделу, включаются в число авторов отчёта в качестве соисполнителей. По результатам работы может быть подана заявка на изобретение или опубликована статья.

Параллельно с проведением научно-исследовательской работы студенты выполняют в СНИЛ организационные и управленческие функции, приобретая одновременно соответствующие навыки.

Современный уровень участия студентов в научной работе, многообразие её форм и методов требуют комплексного подхода к её планированию и организации. Комплексная программа НИРС должна обеспечивать ступенчатую последовательность мероприятий и форм научной работы студентов в соответствии с логикой учебного процесса.

Осуществление комплексного планирования НИРС в высших учебных заведениях по каждой специальности и создание на этой основе единой комплексной системы научно-исследовательской работы студентов позволяют полнее использовать научный потенциал вузов в подготовке современных высококвалифицированных специалистов.

В современных условиях чрезвычайно важной задачей является систематическое пополнение знаний специалистов. С этой целью в нашей стране сформирована система повышения квалификации, состоящая из институтов повышения квалификации, подчиненных соответствующим

отраслевым министерствам и ведомствам, и факультетов повышения квалификации, организованных в основном в высших учебных заведениях. Каждый специалист страны обязан один раз в 5 лет пройти через систему повышения квалификации и обновить свои знания.

3.2. Подготовка кадров высшей научной квалификации в БГУИР

Подготовка научных кадров осуществляется через аспирантуру и докторантуру по следующим научным направлениям и специальностям.

Аспирантура

Физико-математические науки:

- радиофизика;
- физическая электроника;
- оптика;
- физика конденсированного состояния.

Технические науки:

- теоретическая электротехника;
- радиоизмерительные приборы;
- радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения;
- антенны, СВЧ-устройства и их технологии;
- системы, сети и устройства телекоммуникаций;
- системный анализ, управление и обработка информации;
- элементы и устройства вычислительной техники и систем управления;
- автоматизация и управление технологическими процессами и производствами;
- математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей;
- системы автоматизации проектирования;
- телекоммуникационные системы и компьютерные сети;
- вычислительные машины и системы;
- теоретические основы информатики;
- математическое моделирование, численные методы и комплексы программ;
- методы и системы защиты информации, информационная безопасность;
- охрана труда;
- безопасность в чрезвычайных ситуациях;
- твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника; приборы на квантовых эффектах;

- технология и оборудование для производства полупроводников материалов и приборов электронной техники.

Экономические науки:

- экономика и управление народным хозяйством;
- математические и инструментальные методы экономики.

Докторантура:

- технологические процессы в области микроэлектроники;
- приборы и устройства СВЧ;
- электромагнитная совместимость;
- математические методы оптимизации электронных приборов и устройств;
- нелинейные процессы в радиоприемных трактах;
- радиолокационные системы;
- волоконно-оптические системы связи;
- вычислительные машины и системы;

3.3. Структура НИЧ БГУИР

(научные направления)

1. Радиотехнические устройства и системы – научный руководитель В.А. Чердынцев.
2. Системы передачи и обработки информации – научный руководитель В.К. Конопелько.
3. Новые информационные технологии и системы управления – научный руководитель А.А. Петровский.
4. Микро- и наноэлектроника – научный руководитель В.А. Сокол.
5. Новые перспективные материалы, энерго- и ресурсосберегающие технологии – научный руководитель И.В. Боднарь.
6. Сертификация, диагностика и испытания элементов, устройств и систем – научный руководитель Н.С. Образцов.
7. Методы моделирования и оптимизации в радиоэлектронных системах и устройствах – научный руководитель А.А. Кураев.
8. Социально-экономические и экологические проблемы развития общества – научный руководитель Ф.И. Гилицкий.
9. Информационные и обучающие технологии в образовании – научный руководитель В.М. Ильин.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научное исследование – это процесс познания нового явления и раскрытия закономерностей изменения изучаемого объекта в зависимости от влияния различных факторов для последующего практического использования этих закономерностей. Научные исследования классифицируются по различным признакам: методам решения поставленных задач, сфере применения результатов исследования, видам исследуемого объекта и другим факторам (рис.4.1).

Виды научных исследований													
Признаки классификации													
Используемый метод исследования			Сфера применения результатов		Исследуемые свойства объекта		Место проведения исследования		Вид используемого объекта		Стадия выполнения исследования		
Теоретическое	Теоретико-экспериментальное	Экспериментальное	Фундаментальное	Прикладное	Дифференцированное	Комплексное	Лабораторное	Производственное	Натурное	Модельное	Поисковое	Научно-исследовательская работа	Опытно-промышленная работа

Рис. 4.1. Классификация видов научных исследований

Исследования могут быть теоретические, теоретико-экспериментальные и экспериментальные. Отнесение исследования к одному из видов зависит от применяемых методов и средств научного исследования.

Теоретические исследования базируются на применении математических и логических методов познания объекта. Результатом теоретического исследования является установление новых зависимостей, свойств и закономерностей происходящих явлений. Результаты теоретических исследований должны быть подтверждены практикой.

Теоретико-экспериментальные исследования предусматривают последующую экспериментальную проверку результатов теоретических исследований на натуральных образцах или моделях.

Экспериментальные исследования осуществляются на натуральных образцах или моделях в лабораторных условиях, при которых устанавливаются новые свойства, зависимости и закономерности, а также служат для подтверждения выдвинутых теоретических предположений.

Научные исследования по сфере использования результатов подразделяются на *фундаментальные* и *прикладные*.

Фундаментальные ставят целью решение принципиально новых теоретических проблем, открытие новых законов, создание новых теорий. На их основе решаются многие прикладные задачи применительно к потребностям конкретных отраслей науки, техники и производства.

Фундаментальные НИР проводятся с целью выявления и исследования новых, еще неизвестных в достаточной степени явлений, связи между явлениями, законами и закономерностями процессов, механизмов, их сопровождающих (физические, математические и др.), методов исследования этих процессов и методов моделирования при решении этих задач. Результатом таких работ является комплекс знаний в определенной области естественных и гуманитарных наук. К ним относятся:

- обнаруженные новые экспериментальные факты, новые теории и доказательства, новые представления о явлениях, их управление, характеристики, связи, математические, физические, биологические, медицинские и другие факторы, существование которых доказано экспериментально или предсказано теоретически;

- новые экономические, политические, философские теории, неизвестные ранее исторические факторы.

Результатом фундаментальных НИР является создание базы для успешного решения прикладных задач.

Прикладные исследования представляют собой поиск и решение практических задач развития отдельных отраслей производства на основе результатов фундаментальных исследований.

Прикладные НИР проводятся с целью создания технических устройств и систем нового поколения, новых технологий и материалов, новых препаратов и методов лечения, новых видов сельскохозяйственной продукции.

Такие НИР имеют не менее творческий характер, чем фундаментальные. Здесь также нужны новые идеи при создании новой техники и технологии.

Именно прикладные НИР определяют прогресс промышленности, техники, технологии, образования и культуры, повышение военного потенциала страны. Через них осуществляется управление крупнейшими государственными программами, для выполнения которых часто требуется объединение ученых, инженеров довольно разнородных научных направлений.

По составу исследуемых свойств объекта выделяются *комплексные* и *дифференцированные* исследования.

Комплексные исследования представляют собой изучение разнородных свойств одного объекта, каждое из которых может предусматривать применение различных методов и средств исследования. Выполняются они в различное время и в различных местах. Примером комплексного исследования может служить оценка надежности нового автомобиля. Надежность автомобиля является интегральным свойством и обуславливает-

ся такими его отдельными свойствами, как безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность деталей.

Дифференцированным называется такое исследование, в котором познается одно из свойств или группа однородных свойств. В рассмотренном примере каждое в отдельности исследуемое свойство надежности автомобиля является дифференцированным.

Исследования подразделяются и по признаку места их проведения, так как это предопределяет применение различных методов и средств научного исследования. В этом смысле экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных или в производственных условиях, именуется *лабораторными* или *производственными*. Исследуемый объект может быть *натурным* или представлять его *модель*. В каждом случае выбор вида исследуемого объекта подлежит обоснованию. В технике многие исследования и испытания проводятся на моделях и образцах, так как это значительно упрощает создание лабораторной базы для проведения исследований (нередко натурные испытания являются принципиально невозможными). Наиболее достоверными являются результаты натурных испытаний.

По стадиям выполнения исследования подразделяются на *поисковые*, *научно-исследовательские* и *опытно-промышленные разработки*. При разработке крупной научно-технической проблемы первой стадией является поисковое исследование, в результате которого устанавливаются принципиальные основы, пути и методы решения поставленной задачи. Вторая стадия представляет собой научно-исследовательские разработки, целью которых является установление необходимых зависимостей, свойств и закономерностей, создающих предпосылки для дальнейших инженерных решений. Третья стадия — опытно-промышленная разработка, главная задача которой состоит в доведении исследования до практической реализации, т.е. его апробации в условиях производства. На основе результатов опытно-производственной проверки вносятся коррективы в техническую документацию для широкого внедрения разработки в производство.

Каждую научно-исследовательскую работу можно отнести к определенному направлению. Под научным направлением понимается наука или комплекс наук, в области которых ведутся исследования. В связи с этим различают техническое, биологическое, физико-техническое, историческое и другие направления с возможной их последующей детализацией.

Структурными единицами научного направления являются: комплексные проблемы, темы и научные вопросы. Комплексная проблема представляет собой совокупность проблем, объединенных единой целью. Проблема — это совокупность сложных теоретических и практических задач, требующих разрешения в обществе. С социально-психологической точки зрения проблема отражает противоречие между общественной потребностью в знании и известными путями его получения, противоречие между знанием и незнанием. Проблема возникает тогда, когда человеческая практика встречает затруднения или даже наталкивается на «невоз-

можность» в достижении цели. Проблема может быть глобальной, национальной, региональной, отраслевой, межотраслевой, что зависит от масштаба возникающих задач. Так, например, проблема охраны природы является глобальной, поскольку ее решение направлено на удовлетворение общечеловеческих потребностей. Кроме перечисленных различают проблемы общие и специфические. К общим относят проблемы общенаучные, общенародные и т.д. Общеприкладная проблема нашей страны — внедрение малоотходных и безотходных, энерго- и материалосберегающих технологических процессов и систем машин.

Библиотека БГУИР

5. ЕСТЕСТВЕННЫЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ, ГУМАНИТАРНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ. НАУКА И ПСЕВДОНАУКА. РЕМЕСЛО И НАУКА

К **естественным наукам** относятся:

1. Физико-математические науки (они в основном перечислены в разд. 2, как и последующие научные направления).
2. Химические науки.
3. Науки о Земле.
4. Биологические науки.
5. Медико-биологические науки.
6. Сельскохозяйственные науки.

Технические науки также в основном перечислены в разд. 2.

Гуманитарные и социальные науки включают:

1. Исторические науки.
2. Теории развития стран и народов.
3. Языкознание.
4. Искусствоведение.
5. Педагогику.
6. Социологию.
7. Научную методологию.
8. Политологию.
9. Экономику.
10. Право.
11. Литературоведение.
12. Психологию.

Для всех научных направлений характерны следующие принципиальные признаки:

1. Логическая непротиворечивость основных положений, утверждений, законов и закономерностей.
2. Соответствие этих положений, выводов и результатов опытным или экспериментальным фактам.
3. Полная доказательность (логическая или математическая) основных положений, утверждений, теорем, формул и т.д.
4. Непротиворечивость относительно истоков науки и других отраслей наук.
5. Практическая значимость и полезность результатов НИ в данной области приложения, их апробация и подтверждаемость на практике.
6. Воспроизводимость прогнозируемых и предсказанных эффектов при полном обеспечении условий их появления и соответствующей аппаратуры в любой лаборатории, аудитории, предприятии, коллективе и т.д.
7. Открытость к дискуссии, возможность пересмотра устоявшихся, но опровергаемых новыми фактами или доказательствами положений.

И еще непринципиальный признак: постепенное признание научной концепции научным сообществом.

В отличие от науки **псевдонаука** не удовлетворяет либо всем, либо части из перечисленных признаков. Как правило, псевдонаука претендует на полное ниспровержение основ существующей науки и, кроме того, на невиданную доселе пользу для всего человечества. Эта эпатажная сенсационность придает жизненную силу псевдонауке, за счет нее она не только существует, но и получает весьма существенную финансовую подпитку от общества, прежде всего за счет рекламы в СМИ. Поэтому из безобидной карикатуры на науку псевдонаука зачастую превращается в весьма опасного паразита и требует поэтому активного противодействия. Назовем некоторые из наиболее известных «направлений» современной псевдонауки:

1. Астрология (продолжение древней ветви).
2. Парапсихология (испология и т.д.).
3. Полтергейст (продолжение спиритизма).
4. Уфология (НЛО и т.д., продолжение древней чертовщины).

Это лишь «крупные направления» псевдонауки. Но есть масса конкретных, ресурсоемких направлений. Напомним недавние крупные затраты на «холодный термоядерный синтез».

В нашей республике также достаточно ярких представителей псевдонауки. Для примера остановимся на двух:

1. Леонов В.С. Теория упругой квантованной среды. Новые источники энергии. Мн.: ПКООО «Полибиг», 1997. Рецензент: член-корр. НАН Беларуси, д-р. техн. наук., проф. Н.Н. Дорожкин.

Этот классический образец псевдонаучного творения противоречит всем семи принципиальным признакам науки, указанным выше. Но вот, пожалуй, самая яркая характеристика автора: с. 12, 13. Автор из условия (2.17) $(dl)^2 + (dS)^2 = C^2(dt)^2 = (dR)^2$ получает (2.20) $S^2 = R^2 - l^2$! Однако же! А если построить дифференциал (2.20): $SdS = RdR - ldl$? Это вовсе не (2.17):

$(dS)^2 + S(dS)^2 = (dR)^2 + R(dR)^2 - (dl)^2 - l(dl)^2$. Но ведь $(dt)^2 \neq dt^2$!!!

2. Вейник А.И. Термодинамическая пара. Мн.: Наука и техника, 1973. Автор – академик НАН Беларуси.

Такая же классическая псевдонаука. Причем те же нелады с математикой: см. с. 90 (184), 174 (298), 218 (352–355), 222 (359) и т.д.

Ремесло и наука

Ремесло опирается только на знание; ремесленник знает, как нужно действовать. Наука отвечает на вопрос: почему?

Пример

Почему небо голубое? Ответ на этот вопрос дал Смолуховский (1908 г.). За этот ответ ему и Энштейну присуждена Нобелевская премия.

6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НИР И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Теоретические и экспериментальные НИР относятся к фундаментальным: они направлены на поиск новых законов, закономерностей, явлений, фактов и методов, составляющих комплекс новых научных знаний в соответствующих областях.

Теория и эксперимент неразрывно связаны. Теоретические предсказания инициируют постановку специальных экспериментов для проверки этих предсказаний, экспериментально установленные факты требуют теоретического осмысления и объяснения. Такое взаимодействие и дает энергию «вечного движения» тандема теория – эксперимент, движения, которое и есть то, что называется прогрессом науки.

Великий экспериментатор XX века П.Л. Капица наиболее ценным признавал такой эксперимент, результаты которого противоречат существующим теоретическим представлениям. Такой эксперимент – мощнейший толчок в развитии науки, определяющий качественный скачок в этом развитии. Эксперимент нужно стремиться поставить так, чтобы были обнаружены новые факты, не вытекающие из существующих теорий. Эксперимент, который только подтверждает предсказания теории, П.Л. Капица называл «закрытием» (в противовес открытию).

Точно так же и наиболее ценные теории не должны вытекать только из известных экспериментальных фактов, а, основываясь на разумных постулатах, должны создавать новые логически непротиворечивые математические образы явлений (Максвелл: теория электромагнетизма). Тогда и эксперимент, подтверждающий предсказания новой теории, будет уже не «закрытым», а величайшим открытием (Герц: открытие электромагнитных волн).

Для успешного эксперимента необходимо создание оригинальной аппаратуры, которая позволит наблюдать явления в новых условиях (пример: «Гроб Магомета» В.К. Аркадьева – опыт, очевидно и совершенно точно устанавливающий наступление сверхпроводимости образца).

Таким образом, экспериментальные НИР не являются прикладными в той же степени, как и теоретические НИР.

Главным звеном освоения достижений науки и техники во всех отраслях хозяйственной жизни страны являются конструкторско-технологические разработки. Такие работы ведутся в крупных лабораториях, КБ, на опытных заводах и производствах. Эти работы направлены на создание конкурентоспособной наукоемкой продукции, уникальных приборов и систем, устройств нового поколения, нового поколения вооружений, нового программного продукта, новых технологий в экономике и т.д. Здесь должны работать ученые с иными качествами творческого таланта: организаторские и изобретательские, конструкторские способности выдвигаются на первый план.

В промышленно развитых странах около 90 % затрат на науку идет на конструкторско-технологические разработки, которые непосредственно определяют научно-технический прогресс в стране. У нас же это звено традиционно слабо: «внедрение» достижений науки возлагается на самих же научных работников, мало способных к этому. Недавнее создание инновационного центра при НАН Беларуси призвано исправить недостатки в освоении достижений науки в республике. Но нужно, естественно, и адекватное финансирование работ, направленных на освоение достижений науки и техники в различных отраслях народного хозяйства.

Библиотека БГУИР

7. ФИНАНСИРОВАНИЕ НИР

7.1. Научно-исследовательский потенциал и сотрудничество на современном этапе

В Беларуси создана правовая и организационная основа для развития науки инноваций. Управление исследованиями путем формирования государственных научно-технических программ обеспечило ориентацию научного потенциала на нужды экономики республики, позволило создать новые технологии, постоянно обновлять промышленную продукцию, развивать экспорт наукоемких товаров. Через механизм государственных, отраслевых и региональных научно-технических программ реализована государственная поддержка таких приоритетных направлений научно-технического развития, как лекарства и медицина, экология, машиностроение, информатизация, агрокомплекс. С целью ускорения коммерциализации результатов исследований и разработок в последние годы предпочтение отдавалось поддержке работ на стадии завершения, чем создан стимул для более широкого привлечения внебюджетных средств на проведение заключительных стадий научно-инновационного процесса. Это позволило серийно освоить в производстве почти 39 % выполненных по программам разработок, 48 % работ пока находятся на стадии подготовки к производству и 13 % работ доведены до стадии создания единичных опытных образцов. В течение последних пяти лет наукоемкость ВВП в Беларуси поддерживается на уровне 0,8–0,9 % (1999 год – 1,09 %).

В республике традиционно преобладают исследования и разработки в области технических наук. Программно-целевые методы управления фундаментальными исследованиями используются в республике уже более 20 лет. С 1978 г. основной формой организации, проведения и координации фундаментальных исследований в Беларуси стали республиканские комплексные программы в области естественных, технических и общественных наук, а с 1996 г. – государственные программы фундаментальных исследований (ГПФИ).

В 2000 г. выполнялось 38 ГПФИ, в реализации которых принимали участие 125 организаций республики. Среди них: 48 научных организаций НАН Беларуси, 12 институтов Академии аграрных наук Республики Беларусь, 16 университетов, 8 академий и 10 других вузов, 14 отраслевых научно-исследовательских институтов и др.

В качестве соисполнителей заданий ряда программ участвуют 11 научных организаций из России, Германии, Франции, Голландии, Польши, Вьетнама, а также ведущих международных научных центров – Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Россия) и Европейской организации ядерных исследований (Швейцария).

Данные патентной проработки заданий ГПФИ, а также сведения о количестве полученных за отчетный период охранных документов на объекты интеллектуальной собственности дают основания утверждать, что в

ряде случаев отсутствуют не только отечественные, но и мировые аналоги полученных фундаментальных научных результатов или выполненных на их основе научно-технических разработок.

В республике функционирует государственная система подготовки и аттестации научных кадров, возглавляемая Государственным высшим аттестационным комитетом Республики Беларусь (ВАК Беларуси).

Основной формой подготовки исследователей высшей квалификации являются аспирантура и докторантура. Численность аспирантов на конец 2000 г. составляла 5 203 чел.

В целях поддержки научной деятельности в республике при государственной поддержке созданы и функционируют специальные фонды. Среди них: Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ), Белорусский инновационный фонд (Белинфонд), Фонд информатизации Республики Беларусь.

В рамках международного технического сотрудничества проводятся совместные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, устанавливаются прочные связи с международными научными организациями. Особое значение для белорусской науки имеет выход на международный рынок технологий. Государством поддерживаются НИОКР (экологически безопасные и отвечающие нравственным требованиям), в приобретении которых заинтересованы иностранные фирмы.

Приоритетным в сфере науки является сотрудничество с Россией в рамках Союза Беларуси и России и странами СНГ. Реализованы первые совместные научно-технические подпрограммы, финансируемые из бюджета Союза Беларуси и России – «Лазерные технологии XXI века» и «Наукоемкие компоненты общемашиностроительного применения».

Правовой основой для осуществления международного сотрудничества являются международные межправительственные договоры и соглашения. Республикой Беларусь заключено свыше 30 двусторонних договоров и соглашений о сотрудничестве в научно-технической сфере. Активно ведется сотрудничество с Германией, Польшей, Югославией, Китаем, Индией, развивается сотрудничество с Вьетнамом, Египтом, Ираном, Сирией, готовятся к подписанию межправительственные соглашения по сотрудничеству в сфере науки с Италией, Турцией, Бразилией, Южно-Африканской Республикой, прорабатывается возможность заключения таких договоров с Францией, Швейцарией, Австрией и другими странами. Германия — традиционный партнер Беларуси по сотрудничеству в сфере науки. Германией была оказана техническая и финансовая помощь Могилевскому технопарку, Центру трансфера технологий в г. Бресте.

На протяжении ряда лет белорусские ученые принимают участие в Ганноверской выставке-ярмарке, где приобретает опыт международной выставочной деятельности, повышается научный и технический уровень экспозиции республики, устанавливаются контакты с западными, и прежде всего германскими, коллегами. Успешное участие Республики Беларусь в

выставке формирует имидж республики как государства с развитым научно-техническим потенциалом.

Особенно эффективно в последние годы развивается сотрудничество с Китаем, налаживаются новые прямые контакты с регионами (провинциями) Китая. В Китае осваивается новая для Беларуси форма международного сотрудничества, в провинции Щаньдунь открыт совместный белорусско-китайский инновационный центр – современно оснащенная база для промышленного освоения высокоэффективных научных достижений.

Республика Беларусь заинтересована в расширении и углублении сотрудничества с международными организациями, в частности с Международной ассоциацией содействия сотрудничеству с учеными из новых независимых государств (ИНТАС) и Международным центром научно-технической информации (МЦНТИ), с Международным научно-техническим центром (МНТЦ), Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ), ЦЕРН, Научным комитетом НАТО, SCOPES и др.

Основным направлением взаимодействия Республики Беларусь с ИНТАС является участие белорусских ученых в ежегодных открытых конкурсах ИНТАС. Белорусские ученые приняли участие в выполнении более 300 научно-исследовательских проектов.

С помощью каналов ОИЯИ, полноправным членом которого является Республика Беларусь, осуществляется сотрудничество с Европейской организацией ядерных исследований (ЦЕРН). Эта международная межправительственная научная организация является главной лабораторией мира в области физики частиц и высоких энергий.

Кроме того, белорусскими учеными выполняются проекты по линии ЮНЕСКО, МАГАТЭ, INCO-Copernikus, TRANSFORM, CRDF и др.

7.2. Международные и национальные гранты, фонды и программы

Интернационализация и глобализация высшего образования и научных исследований реализуется через установление плодотворных связей между учеными и преподавателями различных стран, свободное движение идей и знаний через границы.

Участие в исследовательских и учебных программах правительств западных стран создает реальную возможность для профессионального роста и творческого развития профессорско-преподавательского состава, ученых и исследователей нашей страны. Студенты и аспиранты получают возможность обучения за границей в лучших западных университетах, что является нормой для современного высшего образования, когда студенты одного учебного заведения проводят часть своего академического времени в других странах. Кроме осуществления программ стажировок участники обменных проектов могут также приобрести магистерские степени иностранных университетов, что открывает перспективы успешной профессиональной карьеры и новые пути самореализации личности.

В условиях реформы высшего образования Беларуси исключительно важно изучение современных моделей университетов, практики организации высшего образования, новейших технологий обучения. Белорусская высшая школа активно участвует в процессах интернационализации и глобализации образования, а значит, потребность в грамотных специалистах, имеющих международный опыт, приобретает все большую актуальность.

Университет становится не только местом формирования индивидуальности, становления национальной культуры и приобретения профессионального образования. Университет сегодня – это наднациональная структура, объединяющая «учащееся сообщество» всех стран, где в полной мере реализуется тенденция «образования длиною в жизнь». Получение образования на современном этапе не ограничивается только временем обучения в университете, учиться приходится действительно всю жизнь, поскольку знания стареют стремительно и приобрести их один раз и навсегда просто нереально.

Возможность пройти стажировку в американских университетах, которые являются на сегодняшний день одними из самых популярных в мире, способствует развитию не только профессиональной культуры участников программ, но и становлению новой парадигмы образования в нашей стране. Выпускники программ американского правительства приносят в высшее образование нашей страны новейшие технологии и новые идеи, осуществляют гуманитарную миссию укрепления взаимопонимания и межкультурного диалога.

7.3. Общие принципы функционирования фондов, классификация, виды финансовой поддержки

В последние годы интенсивно развивается информационная и телекоммуникационная среда образования и науки в Беларуси. Это создает основу для вхождения Беларуси в мировое информационное пространство и стимулирует развитие горизонтальных связей в научно-образовательной сфере. Такое развитие фундаментальной науки и высшего образования соответствует приоритетам основных направлений грантовой поддержки международных и национальных фондов и программ.

В зависимости от источников финансирования зарубежные фонды можно классифицировать следующим образом:

научные общества и государственные фонды (NSF – США, Royal Society – Великобритания);

мемориальные научные фонды (Ф. Гумбольда – Германия, Ф. Лизы Майтнер – Австрия);

частные и благотворительные фонды (наиболее многочисленная группа, насчитывающая несколько тысяч фондов);

фонды, финансирование которых осуществляется как за счет государственных и общественных организаций, так и за счет частных пожерт-

вований (IREX, EURASIA – США, DAAD – Германия, British Council – Великобритания);

международные программы (программы в рамках ЕС);

фонды, основанные фирмами (Hitachi – Япония);

фонды при научных организациях и университетах.

Кроме того, некоторые фонды имеют специальные программы для поддержки науки и образования в бывшем СССР (фонд Сороса – Институт «Открытое общество», фонд МакАртуров и др.).

Типы грантов условно можно разделить на несколько групп:

финансирование проектов, в выполнении которых участвуют несколько зарубежных и российских партнеров (программы в рамках ЕС);

финансирование проектов, в выполнении которых участвуют представители только двух стран: России и, например, Великобритании (Royal Society);

гранты на краткосрочные или долгосрочные исследовательские визиты российских преподавателей, ученых и администраторов в западные научные учреждения (JSPS – Япония, DAAD – Германия);

гранты целевого назначения: финансирование поездок на конференции и обучение (ИОО, НАТО), поддержка студенческих обменов, образовательных и гуманитарных программ (Евразия) и т.д.

Дисциплинарная ориентация зарубежных фондов в Беларуси отражает ситуацию, которая имеет место в мире: подавляющая часть фондов финансирует общественные, гуманитарные науки, а также социально значимые исследования.

Естественно-научные исследования финансируются в рамках совместных проектов по программам ИНТАС, КОПЕРНИКУС, Международного научно-технического центра, CRDF – Американского фонда гражданских исследований и развития для независимых государств бывшего СССР, а также рядом фондов (Royal Society, NSF и т.д.).

Гуманитарные и общественные науки финансируются как в форме индивидуальных, групповых грантов и совместных проектов, выполняемых на территории Беларуси, так и в форме стажировок (как правило, от 1 до 8 месяцев) отечественных ученых за рубежом.

Поддержка науки в регионах является приоритетом всех зарубежных фондов.

Поддержка молодых исследователей отражена в специальных программах отдельных фондов, например, в DAAD программы для проведения исследований учеными, моложе 32 лет.

Молодые ученые, как правило, менее активны в подаче заявок на гранты, чем их более старшие коллеги, и по оценке DAAD это наиболее ярко проявляется в регионах.

Поддержка женщин – официальный приоритет таких фондов, как фонд МакАртуров, Российского научного фонда (при поддержке фонда Форда), а также по программам АСПРЯЛ. В фонде МакАртуров женщинам оказывается поддержка практически по всем направлениям исследований.

В настоящее время в деятельности зарубежных фондов наблюдаются три тенденции:

переход от поддержки фундаментальных исследований к финансированию более прикладных работ;

переход от финансирования индивидуальных исследований к проектам, выполняемым совместно российскими и зарубежными учеными;

постепенное усиление отечественных фондов, благодаря сотрудничеству с зарубежными фондами (ИНТАС, национальным фондом Китая, Немецким научно-исследовательским обществом, Фондом гражданских исследований и разработок).

В настоящее время появляется все больше и больше совместных проектов, осуществляемых на территории СНГ, что помимо научной и финансовой выгоды дает новое решение проблемы «утечки мозгов». Такое сотрудничество не только позволяет сохранить научный потенциал России, но и весьма перспективно для развития науки в целом.

7.4. Фонды и грантодатели

Грантодатели предпочитают финансировать такие проекты, которые принесут им известность и представят как вашу организацию, так и фонд в наиболее выгодном свете. Фонды не хотят финансировать организации с плохим управлением, проекты, которые не соответствуют целям и задачам фонда, а также проекты, которые сопряжены с большим финансовым, политическим или социальным риском.

Грантодатели обычно ищут проекты:

- с ясно и четко определенными целями, проблемами и задачами;
- с хорошо проработанной и исследованной темой.

Большинство грантодателей, рецензируя или просматривая заявки, делит их на три группы, или стопки:

- заявки, которые следует профинансировать;
- заявки, которые не следует финансировать;
- остальные.

Эти стопки можно условно назвать: стопка «да», стопка «нет» и стопка «может быть».

Во время первого, быстрого просмотра профессиональный рецензент просматривает заглавную страницу каждой заявки и ее резюме (аннотацию проекта), чтобы определить запрашиваемый объем финансирования, цель и тему проекта, а также даты его начала и окончания.

Обычно рецензент тратит около минуты на каждую заявку во время первого просмотра (для того чтобы быстро отделить те примерно 65 % заявок, которые наверняка попадают в группу «нет»).

Приведенные ниже данные должны продемонстрировать вам, как важно, чтобы заявка имела ясно, четко и убедительно написанные заглавную страницу и резюме.

Нет.....65 %
Да.....10 %
Может быть.....25 %

Вы хотите обязательно попасть в группу «да». В этой группе будут те организации и учреждения, деятельность которых известна грантодателю, заявки, предлагающие проекты в областях, совпадающих с задачами фонда, запрашиваемый объем финансирования которых не превышает сумм, выделяемых обычно фондом (естественно, что заявки должны быть хорошо написаны), а также заявки на проекты, которые уже получили частичное финансирование и запрашивают «недостающие» суммы (такое финансирование запрашивается тогда, когда вы хотите получить деньги в дополнение к тем, которые вы уже получили или надеетесь получить в другом фонде – оба гранта в этом случае составят сумму, необходимую для работы над проектом). Заявки в группе «да», как правило, содержат материалы исследований, демонстрирующих необходимость проведения проекта, проблему и предполагаемый результат (таким образом показывая, что была проведена подготовительная работа и предлагаемая тема проекта уже предварительно проработана).

Если ваша заявка в стопке «может быть», то для начала это тоже неплохо. Предложения от недавно появившихся или незнакомых грантодательских организаций часто оказываются в этой стопке. Помните, что невозможно получить положительный ответ на все заявки, с которыми вы обращаетесь. Может быть, вас заметят в текущем году, однако в группу «да» вы попадаете лишь в следующем. Очень часто заявка попадает из стопки «может быть» в стопку «да», если она хорошо написана, тема ее отвечает задачам фонда, убедительно демонстрирует способность подающего заявку эффективно решить проблему, а объем запрашиваемого финансирования соответствует величине грантов, выделяемых фондом. Нужно помнить о том, что первоначально все предложения не прочитываются подробно, а лишь просматриваются. Поэтому титульный лист вашей заявки должен содержать заголовки, выделенные жирным шрифтом; вы должны подчеркнуть все, что является важным, т.е. вы должны привлечь внимание рецензента вашей заявки к тому, что он должен заметить в первую очередь. Например: если рецензент вынужден долго искать в заявке то место, где говорится об объеме запрашиваемого финансирования, то вполне возможно, что эта информация так и не будет обнаружена. Помните, что время у тех, кто рецензирует ваши предложения, ограничено; они должны находить важную информацию в вашей заявке быстро и легко.

В стопку «нет» обычно попадают такие заявки от организаций:

- неопределенные или неполные заявки, авторы которых не следовали правилам оформления, сформулированным грантодателем;
- заявки на финансирование проектов в областях, которые данный фонд не финансирует;

- заявки от организаций, которые просто просят о финансовой помощи, но не определяют реальную проблему, которая будет решаться в рамках их проекта;

- заявки, в которых определена проблема, однако отсутствует подтверждение того, что эта проблема требует решения (например, если из текста заявки следует, что только заявитель озабочен данной проблемой, либо данная проблема не была исследована авторами проекта);

- заявки, которые уже получали финансирование в прошлом и с которыми теперь следует обратиться в другие фонды с просьбой о финансировании;

- заявки, в которых объем запрашиваемого финансирования превышает обычно выделяемый данным фондом или благотворительной организацией.

Обычно грантодатель хочет получить ответы на следующие вопросы:

- чем эта организация и предлагаемый проект отличаются от других?

- что в нем особенного?

- почему мы должны дать деньги именно этой организации?

Вам нужно продемонстрировать, что в вашей организации работают высокопрофессиональные специалисты, что вы обеспечите услуги, в которых существует острая необходимость, и что у вас есть сотрудники, которые смогут выполнить проект качественно.

Для этого вы можете показать свои преимущества; сравнив свою организацию с подобными организациями в вашем регионе, вы можете продемонстрировать, как вы разрабатывали долговременную политику финансирования и развития вашей организации и как ваша организация и проект соответствуют географической, академической стратегии и финансовым планам фонда.

Процесс поиска средств – дело сложное и долгое. Его необходимо планировать заранее. Не стоит ожидать, что вы сможете начать работу спустя неделю после подачи заявки. Поиск средств необходимо начинать задолго до того, как эти средства понадобятся и будут использованы, чтобы обеспечить их наличие тогда, когда они более всего нужны.

7.5. ИНТАС

INTAS – International Association for the promotion of cooperation with scientists from the New Independent States of the former Soviet Union. – Международная ассоциация по содействию сотрудничеству с учеными из новых независимых государств бывшего Советского Союза (ИНТАС).

Сфера деятельности: содействие сотрудничеству с учеными из стран бывшего СССР (преимущественно в области фундаментальных исследований).

Тематика: физика, математика, телекоммуникации, информационные технологии, химия, науки о жизни, науки о Земле, экология, энергетика, технические науки, авиация, космос, экономика, социальные и гу-

манитарные науки. Не финансирует военные исследования, политическую и коммерческую деятельность.

Формы поддержки: конкурсы совместных исследовательских и сетевых проектов во всех научных дисциплинах, тематические и совместные конкурсы, поддержка организации конференций, инфраструктурные акции, стипендии для молодых ученых.

Принимаются заявки на следующие виды поддержки:

1. Гранты для молодых ученых (не старше 35 лет на момент выделения гранта).

2. Гранты на посещение конференций и стипендии для молодых ученых, участвовавших в проектах ИНТАС.

3. Гранты для молодых ученых, не принимающих участия в проектах ИНТАС:

- стипендии для написания кандидатской диссертации;
- стипендии для молодых кандидатов наук (но не более трех лет с момента защиты);
- стипендии для кандидатов наук (с момента защиты должно пройти более трех лет).

За дополнительной информацией обращаться к Joelle Lepot (lepot@intas.be), Aoife Leydon (leydon@intas.be) или по факсу +32-2-549-01-56.

4. Поддержка организации конференций.

INTAS – это независимая международная ассоциация, сформированная странами – членами Европейского Союза и странами, придерживающимися подобных убеждений, стремящимися сохранить и содействовать развитию ценного научного потенциала стран – партнеров INTAS посредством развития научного сотрудничества между Западом и Востоком.

Страны СНГ – партнеры INTAS:

Армения	Молдова
Азербайджан	Россия
Беларусь	Таджикистан
Грузия	Туркмения
Казахстан	Украина
Киргизия	Узбекистан

Страны – члены INTAS:

Austria	Latvia
Belgium	Lithuania
Bulgaria	Luxembourg
Republic of Cyprus	The Netherlands
Czech Republic	Norway
Denmark	Portugal
Estonia	Romania

Finland	Slovak Republic
France	Slovenia
Germany	Spain
Greece	Sweden
Hungary	Switzerland
Iceland	The United Kingdom
Ireland	The European Community
Israel	Italy

INTAS объединяет научные сообщества через партнерские связи. Она поддерживает ученых-новаторов, финансируя совместные высококачественные исследовательские проекты, имеющие целью продвижение научного знания для взаимной выгоды стран СНГ и стран — членов INTAS.

Своей Программой поддержки молодых ученых Ассоциация поддерживает проекты в инновационных областях исследований, ведущихся молодыми специалистами.

7.6. Совет по международным исследованиям и обменов IREX

Совет по международным исследованиям и обменов (IREX) — это международная некоммерческая организация, ориентированная на поддержку и развитие научного и практического знания и укрепление исследовательских возможностей в системе высшего образования. Основной целью IREX является предоставление возможностей как отдельным субъектам, так и различным гражданским институтам активно участвовать в процессах создания и укрепления демократического общества. IREX успешно администрирует свои многочисленные программы академических и профессиональных обменов во многих странах Восточной Европы, Азии и Ближнего Востока, а также республиках СНГ.

IREX содействует:

- качественной профессиональной подготовке и интенсивному интеллектуальному росту студентов, научных исследователей, политических лидеров, представителей бизнеса, журналистов и многих других профессионалов;
- развитию независимых средств массовой информации, академических, общественных и негосударственных гражданских институтов;
- развитию научного знания в системе высшей школы, фондах, корпоративном секторе, а также среди представителей политической элиты через целый ряд комплексных программ.

IREX полагает, что программы академических обменов и технической помощи, администрируемые и поддерживаемые IREX на протяжении долгого времени, взаимодополняемы и взаимосвязаны. Через новое и усовершенствованное знание IREX содействует развитию гражданского общества, устойчивому экономическому росту стран с переходной экономи-

кой, укреплению международного сотрудничества и продвижению всеобщего мира.

7.6.1. Программа стипендий им. Фулбрайта

Программа стипендий им. Фулбрайта разрабатывается и финансируется Бюро по вопросам культуры и образования Государственного департамента США.

В Беларуси программа администрируется отделом информации, образования и культуры Посольства США. Программа была основана в 1946 г. Вильямом Фулбрайтом, сенатором от штата Арканзас.

Программа стипендий им. Фулбрайта предоставляет возможность многим ученым и исследователям создать новые профессиональные контакты, развить дружеские отношения с американскими коллегами, разработать совместные научные проекты с американскими учеными и исследователями и укрепить свои исследовательские возможности в рамках стажировки, проведенной в США. Программа предусматривает возможность проведения научно-исследовательской работы последовательно и непрерывно. Работая в иных условиях и новой социально-культурной среде, ученые получают качественно новый опыт исследовательской работы.

С момента основания программы стипендий им. Фулбрайта 34 000 ученых провели свое исследование или читали лекции в американских университетах. Более чем 32 000 американских исследователей занимались научно-исследовательской работой за рубежом. Ежегодно стипендии им. сенатора Фулбрайта вручаются около 750 ученым и исследователям более чем из 140 стран мира.

Заявки на участие в программе стипендий им. Фулбрайта могут подаваться по следующим направлениям:

1. Международные отношения.
2. Экономика.
3. Управление образованием.
4. Право.
5. Журналистика и средства массовой информации.
6. Социальные науки (социология, политология, история).
7. Методика преподавания английского языка.
8. Американские исследования.

Обязательным условием участия в конкурсе по программе стипендий им. Фулбрайта является свободное владение английским языком, наличие степени кандидата или доктора наук и преподавание в высших учебных заведениях страны.

7.6.2. Программа аспирантских стипендий им. Эдмунда Маски

Программа аспирантских стипендий им. Эдмунда Маски, основанная в 1992 г. и призванная содействовать процессам демократизации и экономической либерализации в Армении, Азербайджане, Беларуси, Грузии, Казахстане, Киргизстане, Молдове, России, Таджикистане, Туркменистане, Украине и Узбекистане, является программой Бюро по вопросам культуры и образования Государственного департамента США.

Программа аспирантских стипендий им. Эдмунда Маски предоставляет стипендии гражданам вышеуказанных республик для их обучения по следующим специальностям:

1. Бизнес — администрирование.
2. Экономика.
3. Образование.
4. Окружающая среда.
5. Международные отношения.
6. Журналистика и средства массовой информации.
7. Право.
8. Библиотечное дело.
9. Общественные связи.
10. Здравоохранение.
11. Общественная политика.

По окончании обучения в США и возвращения домой стипендиаты программы призваны содействовать становлению демократии, укреплению экономической стабильности, а также развитию фундаментальных и прикладных исследований в области полученного знания в вышеуказанных республиках.

В конкурсе на участие в программе аспирантских стипендий им. Эдмунда Маски могут принимать участие граждане 12 республик в возрасте до 40 лет на момент подачи заявки, имеющие диплом о высшем образовании, владеющие высоким уровнем языковой подготовки для обучения в США и продемонстрировавшие свой лидерский потенциал и профессионализм в области своего знания.

7.6.3. Программа «Актуальные вопросы современности»

Программа «Актуальные вопросы современности» разрабатывается, финансируется и реализуется Бюро по вопросам культуры и образования Государственного департамента США при финансовой помощи Конгресса США. Программа осуществляется в рамках Акта в поддержку демократии и администрируется Советом по международным исследованиям и обменам. Начиная с 1995 г. более 500 квалифицированных специалистов из Армении, Азербайджана, Беларуси, Грузии, Казахстана, Киргизстана, Молдовы, России, Таджикистана, Туркменистана, Украины и Узбекистана приняли участие в стажировках.

Программа предоставляет возможность ведущим и квалифицированным специалистам из 12 республик СНГ провести самостоятельное исследование, наладить двусторонние профессиональные и интеллектуальные контакты, разработать совместные проекты и провести курс ознакомительных семинаров в США в течение четырех месяцев с целью содействия процессам демократизации, экономической либерализации и строительству гражданского общества на территории вышеуказанных республик.

Данная программа рассчитана, прежде всего, на опытных и высококвалифицированных специалистов, работающих как в государственной, так и в негосударственной сфере, таких, как экономисты, политологи, юристы, журналисты, специалисты в области информационных технологий, а также представителей различных министерств и ведомств. Все заявки на участие в программе должны содержать в себе разработанные и целенаправленные исследовательские проекты и демонстрировать социально-политическую значимость в целом для республики.

В конкурсе на участие в программе «Актуальные вопросы современности» могут принимать участие граждане 12 республик в возрасте от 24 до 55 лет на момент подачи заявки, имеющие законченное высшее образование, трехлетний опыт работы в области проводимого исследования, владеющие английским языком, необходимым для проведения самостоятельного исследования в США.

Программа включает следующие направления:

1. Устойчивый рост и экономическое развитие стран с переходной экономикой.
2. Демократизация, права человека, верховенство закона.
3. Политические и военные вопросы, вопросы безопасности и публичной политики.
4. Укрепление гражданского общества.
5. Информационная революция и доступ к информации.

7.6.4. Программа «Региональные ученые»

Программа «Региональные ученые» разрабатывается, финансируется и реализуется Бюро по вопросам образования и культуры Государственного департамента США при финансовой поддержке Конгресса США.

Программа осуществляется в рамках Акта в поддержку демократии и администрируется Советом по международным исследованиям и обменов (IREX). Начиная с 1993 г. многие опытные исследователи и известные ученые, а также молодые преподаватели из Армении, Азербайджана, Беларуси, Грузии, Казахстана, Киргизстана, Молдовы, России, Таджикистана, Туркменистана, Украины и Узбекистана приняли участие в стажировках.

Указанная программа предоставляет возможность преподавателям высших и средних учебных заведений, ученым и исследователям из 12 республик СНГ провести самостоятельное исследование в области гуманитарного и социально-политического знания, опубликовать научные статьи

и книги, прочесть курс ознакомительных лекций в США в течение четырех месяцев с целью содействия развитию науки и образования на территории вышеуказанных республик. Все заявки на участие в программе должны содержать разработанные и целенаправленные исследовательские проекты, отвечающие всем требованиям современного общества как в рамках СНГ, так и США.

В конкурсе на участие в программе «Региональные ученые» могут принимать участие граждане 12 республик в возрасте от 24 до 60 лет на момент подачи заявки, имеющие законченное высшее образование, степень кандидата наук или работающие на получение научной степени, а также владеющие английским языком, необходимым для проведения самостоятельного исследования в США.

Программа включает следующие направления:

- американские исследования;
- этика;
- управление;
- бизнес-администрирование;
- внешняя политика и международные отношения;
- военная наука;
- городское планирование;
- география;
- философия;
- гражданское образование;
- государственное управление;
- политология;
- разрешение конфликтов;
- история;
- психология;
- криминальное право;
- информационные технологии;
- общественные связи;
- культурная антропология;
- журналистика и коммуникации;
- социальная работа;
- демография;
- трудовые отношения;
- социология;
- экономика;
- право;
- женские исследования;
- образование;
- библиотечная наука.

8. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ, НАУЧНАЯ НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ, ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Актуальность темы НИ имеет следующие составляющие (мотивации):

1. Появились достаточно обоснованные предпосылки прорыва на каком-то определенном научном направлении, и поэтому в этом направлении начаты интенсивные НИ во многих ведущих мировых центрах.

2. Для теоретических НИ: стали известны экспериментальные данные, противоречащие имеющимся теориям или не имеющие теоретического объяснения.

3. Для экспериментальных НИ: появились теоретические предсказания новых эффектов, явлений, процессов, закономерностей и т.д., имеющих важнейшее значение для науки и практики; их экспериментальная проверка при любом результате даст новый импульс в развитии науки, техники, производства и т.д.

4. Для прикладных НИ: сформировался новый комплекс фундаментальных знаний, реализация которого в прикладных НИ представляется многообещающей и реальной.

5. Выявляются достаточно очевидные пробелы в исследованиях по определенным направлениям, тормозящие прогресс в важных областях науки, техники, производства, технологий и т.д.

6. Возникли запросы промышленности, экономики, медицины, сельского хозяйства; поступили срочные заказы по оборонной тематике.

7. В данном исследовательском коллективе накоплен достаточный опыт решения перечисленных проблем, разработаны методы решения возникших задач.

Научная новизна планируемых результатов НИ обосновывается следующими составляющими (предпосылками):

1. Новизна постановки задачи НИ: ранее такие задачи не решались или решались в более простой постановке.

2. Новизна идеи авторов НИ: научная гипотеза перспективна и обоснованна, виден путь разрешения поставленной проблемы.

3. Новизна теоретических или экспериментальных методов решения проблемы, их эффективность: они дают возможность решить ранее неразрешимую задачу.

4. В плане НИ предусмотрены исследования явлений в новых условиях, что позволяет надеяться на обнаружение новых эффектов, новых решений проблем, ранее не решенных.

5. В плане НИ предусмотрено создание новой техники, новых материалов, новой технологии и т.д.

В итоге научная новизна НИ реализуется в виде крупного или существенного вклада в развитие определенного научного направления в области естественных, технических или гуманитарных наук. В исключительных

случаях НИ приводят к возникновению новых научных направлений, еще реже – «именных» достижений: 1) уравнений Ньютона, Гамильтона, Лагранжа, Пуассона, Лапласа, Гаусса, Гельмгольца, Максвелла, Шредингера, Дирака, Лондонов; в единственном числе – таблица Менделеева; чаще – методы, функции, формулы, теоремы, числа: методы Ньютона, Эйлера, Лагранжа, Гаусса, Хевисайда, Фурье, Крылова и далее; функции Макдональда, Бесселя, Лейбница, Грина и т.д.; формулы: Ньютона, Коши, Муавра, Крамера, Пуассона, Симпсона, Сьерра-Френе и т.д.; теоремы: Пифагора, Ролля, Чебышева, Абеля, Лиувилля и т.д.; числа: Бернуллы, Эйлера, Рейнольдса и т.д.

Практическая значимость определяется полезностью полученных результатов НИР по следующим признакам:

1. Создана научная база для развития прикладных исследований.
2. Создан комплекс методов для решения фундаментальных и прикладных задач.
3. Создан комплекс программ или программное обеспечение для исследовательских, прикладных и конструкторских НИР.
4. Разработаны новые конкурентоспособные наукоемкие виды продукции для промышленного выпуска.
5. Разработаны новые эффективные технологии, улучшающие условия труда и повышающие его производительность.
6. Разработано новое технологическое оборудование для предприятий, реализующее новые технологии по п. 5.
7. Разработаны новые технологии управления производством, экономикой и т.д., сопровождающиеся соответствующей реализацией в программном продукте.
8. Созданы новые материалы, лекарства, гибриды или трансгены для сельского хозяйства.
9. Разработаны новые информационные системы, основанные на интеллектуальных информационных технологиях и предназначенные для обеспечения НИ, производства, реальной экономики и т.д.
10. Разработаны методы моделирования и оптимизации для систем автоматизации проектирования, приводящие к существенному снижению затрат на проектирование и улучшению качества разработок.
11. Разработаны новые методы защиты информации, обеспечивающие информационную безопасность.
12. Созданы новые поколения вычислительной техники на базе новых методов обработки информации или новой элементной базы.

9. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. НАУЧНАЯ ЛОГИКА

Если цель исследований четко поставлена и ясна, то последующим этапом является выбор инструмента достижения цели – решения поставленной задачи, т.е. выбор методологии и методов выполнения научных исследований. Методология и методы, естественно, зависят от конкретного содержания задачи исследований и могут быть весьма различными. Но некоторые специфические особенности можно, конечно, выделить, исходя из характера задачи.

1. Математические задачи. Обычная методология доказательства математического утверждения или факта – доказательство теоремы или леммы.

Примеры

1. Основная теорема вариационного исчисления

Если функционал $I[y(x)]$, имеющий вариацию, достигает максимума или минимума при $y = y^*(x)$, где $y^*(x)$ – внутренний элемент области определения функционала G , то при $y = y^*(x)$ первая вариация функционала δI обращается в нуль ($\delta I [y = y^*(x)] = 0$).

Доказательство базируется на определениях: функционал, вариация аргумента, непрерывность функционала, вариация функционала, слабые и сильные максимум и минимум функционала. Определения и понятия – важнейшие элементы научной логики. Доказательство прямое, строго соответствующее научной логике. С ним мы познакомимся в курсе «Современные информационные технологии».

2. Основная лемма вариационного исчисления

Если для любой непрерывной функции $\varphi(x)$ выполняется $\int_{x_0}^{x_1} \Phi(x) \varphi(x) dx = 0$, где $\Phi(x)$ также непрерывная функция, то $\Phi(x) = 0$ при $x \in [x_0, x_1]$.

Лемма доказывается «от противного» и также в полном соответствии с научной логикой. С доказательством мы также ознакомимся в упомянутом курсе.

2. Задачи, связанные с формулировкой новых математических методов. Обоснование методов также базируется на научной логике и может также принимать форму теоремы.

Пример

Теорема, обосновывающая метод множителей Лагранжа

Функции $y_1(x) \dots y_n(x)$, реализующие экстремум функционала

$I = \int_{x_0}^{x_1} F(x, y_1, \dots, y_n, y_1', y_2', \dots, y_n') dx$ при наличии условий

$$\varphi_i(x, y_1, \dots, y_n, y_1', \dots, y_n') = 0, \quad i = \overline{1, m}, m < n, \quad (1)$$

удовлетворяют при соответствующем выборе множителей $\lambda_i(x), i = \overline{1, m}$ уравнениям Эйлера, составленным для функционала $I^* = \int_{x_0}^{x_1} F^* dx,$

$$F^* = F + \sum_{i=1}^m \lambda_i(x) \varphi_i(x, y_j, y_j')$$

и условиям (1)

$$F_{y_j}^* - \frac{d}{dx} F_{y_j'}^* = 0, \quad j = \overline{1, n}.$$

3. Задачи теории в естественных, технических и гуманитарных науках. Здесь методология исследований опирается как на комплекс научных знаний, существующий в этих областях, так и на методы математической формализации с последующим использованием математических аналитических и численных методов решения поставленной задачи с использованием ВТ.

4. Задачи в области метрики, обработки информации, автоматизации измерений. Здесь методология в большой степени опирается на современные информационные технологии, вероятностные методы, методы распознавания образов, интеллектуальные информационные системы, нечеткие классификаторы и т.д. В то же время арсенал методов решения задач метрики непрерывно пополняется новыми открытиями в области естественных наук, приводящих к революционным изменениям в решении указанных задач (ядерный магнитный резонанс, электронный парамагнитный резонанс, голография, квантовые капли и нити, люминесцентные точки, генодиагностика и т.д.).

5. Экспериментальные задачи в любой области науки наиболее сложны и требуют, как правило, использовать весь методологический арсенал, перечисленный выше. Как правило, весьма эффективны теоретические предсказания, часто подсказывающие идеологию постановки экспериментов.

10. ТРИЕДИНСТВО МЫШЛЕНИЯ: ЛОГИЧЕСКОЕ, ОБРАЗНОЕ, АССОЦИАТИВНОЕ

Несмотря на все разнообразие понятий и определений, относящихся к мышлению, его можно разделить на три типа различного назначения и действия:

1. *Рациональное, логическое*; у правшей этот тип мышления формируется в левом полушарии мозга (конечно, с различными связями с другими отделами мозга).

2. *Образное, геометрическое*; за него несет ответственность правое полушарие мозга. Образ – непосредственное восприятие мира, его отражение. Образы хранятся в памяти.

3. *Ассоциативное, подсознательное*; оно формируется в глубинных областях мозга (в «подкорке») – внешне спонтанное, не аргументированное, иногда соединяющее «несоединимые» образы, понятия, представления.

Это, конечно, примитивное разделение, но оно помогает хотя бы приближенно составить сценарий процесса мышления. Любой эпизод «раздумий» связан, в большей или меньшей степени, со всеми тремя типами мышлений. И каждый человек по преимущественному типу мышления вполне определим: один – с рациональным мышлением (левое полушарие); другой – с большим воображением, фантазией (правое полушарие); третий – непредсказуемый, с «внутренним голосом», с большой интуицией («подкорка» превалирует).

По этому поводу обычно цитируют «Конька-горбунка» Ершова: «...старший умный был детина, средний сын и так и сяк, младший вовсе был дурак». В переводе на наш язык: первый был рационален, второй – со смешанным мышлением, третий («дурак») с большой интуицией, его поступки со стороны непонятны, но ведь он-то и выиграл!

Интуиция определяется так: способность к решению задачи, принятию решения, постижению истины, наконец, без обоснования и доказательств. Такая способность определяет уровень научного «чутья», помогающего иногда сделать невероятно важные открытия или избежать научных ошибок и заблуждений.

Примеры:

1. Менделеев (таблица); Хевисайд ($\varepsilon = mc^2$, ионосфера, операторный метод); Фарадей (эффект Фарадея) – открытия.

2. Вайнштейн – уравнения возбуждения волновода, специальная форма записи – спасение от грубой ошибки.

Можно также разделить интуицию на два типа: а) с привлечением образов и ассоциаций; б) чисто «подкорковую» – озарение без долгих размышлений; последний тип интуиции может привести к «захвату» группы людей, поскольку подкорковая информация человека-генератора сообщается другим через сознание, минуя «подкорковый фильтр» этих людей.

Гипноз, кодировка – действие подсознания гипнотизера на сознание пациента, в обход «подкоркового фильтра».

Опираясь на описанные три типа мышления, можно составить и схему, «сценарий» познания или (приземленно) решения задачи исследования.

1. В начале всякого знания стоит наблюдение; здесь важна научная зоркость: ведь любое явление необъятно по совокупности связей, факторов и проявлений, нужно выделить главное. Для наблюдения нужна образность мышления.

2. Далее нужна логичность, последовательность мышления, чтобы произвести классификацию фактов и явлений, привести их в систему, ввести определения и понятия, принять непротиворечивую систему аксиом.

3. Затем следует – высший по Фарадею этап познания – поиск связей или законов, обобщающих итоги предыдущих действий.

По Фарадею последовательность ценности действий такова (в порядке перечислений):

- 1) открытие нового факта;
- 2) сведение его к известным принципам;
- 3) открытие факта, не сводимого к известным принципам;
- 4) сведение всех фактов к еще более общим принципам.

Первое и третье следует объединить по нашему сценарию в «наблюдение». Тогда прорисовывается наш трехстадийный сценарий, но уже с оценками Фарадея. Этот сценарий на самом деле бесконечен: три стадии «прокручиваются» бесконечное число раз, разветвляются и т.д.

Проиллюстрируем сценарий познания на примере известных научных открытий.

На пути к открытию можно выделить четыре этапа, составляющие заметные отрезки этого движения. Они известны как: 1) *подготовка*; 2) *инкубация*; 3) *озарение* и 4) *доведение результата*.

Путь начинается этапом, который называют *подготовительным*. Здесь создаются программы на весь период научного поиска, идет формирование проблем. Но что представляет собой проблема?

Это белое пятно, обнаруженное на карте знаний. Все вокруг кажется ясно, а вот это пятно не поддается объяснению средствами принятой теории. Возникает так называемая проблемная ситуация, т.е. заявка на открытие, когда указан и район, где оно должно примерно состояться, и осмыслено противоречие, которое надо устранить. К проблеме предъявляются большие требования. Ведь от того, насколько глубоко, парадоксально явление, на которое она указывает, зависит будущее науки.

Говорят так: если после решения проблемы на ее месте возникает новая, найдено только квазирешение (как бы решение). Если же после решения никаких новых проблем не возникает, то была квазипроблема. Настоящая проблема в ходе решения размножается в геометрической прогрессии, порождая взрыв новых проблем.

Сказанное требует от подготовительного этапа высшей обязательности, сосредоточения мысли, а это осуществимо лишь на пути отчетливого понимания проблемной ситуации. Следовательно, задание программы проходит под контролем сознания, осуществляется в логически выверенных, подотчетных исследователю действиях. Конечно, и здесь не обходится без интуитивного чутья, но оно скорее сопровождает проводимый созданием анализ.

Было замечено многочисленными наблюдателями, что проблема часто осознается во время подготовки докладов, при чтении лекций, в беседах, на консультации, т.е. в процессах систематизации, упорядочивания знаний, в пору их логической обработки. Собственно, наука и начинается с того момента, когда появляется желание изложить свои взгляды другому. Ведь чтобы изложить, надо вначале самому овладеть ими, свести воедино, разметить границы разделов, выделить главное. Здесь и обнаруживаются неясные пункты, спорные точки, проблемные узлы. Например, готовясь к лекции, ученый еще раз обдумывает предмет, уточняет прежние идеи, нередко обнаруживает новые.

В курсе химии, который Д. Менделеев читал студентам, ему не нравилось, как излагался в учебниках и специальной литературе раздел об элементах. Сведения были разрозненны. В лучшем случае они описывали лишь отдельные группы элементов вне связи их с другими группами. Дело в том, что не было выявлено единого для всех элементов признака, по которому можно было бы эти разобщенные сведения упорядочить.

Д. Менделеев и задался целью вначале из чисто учебно-методического интереса (чтобы лектору было легче читать, а студентам – слушать) внести в этот хаос порядок. Он находит такое общее свойство – атомный вес. Вместе с тем обнаруживает его периодическую повторяемость, что и позволило указать каждому элементу его место в таблице. По современным представлениям, положение элемента в системе определяется его порядковым номером, он же, в свою очередь, обусловлен количеством зарядов в ядре атома.

Также педагогическими соображениями руководствовался и Н. Лобачевский, когда начинал свои исследования неевклидовой геометрии. Речь идет о так называемом пятом постулате (постулате о параллельных) Евклида, который гласит: через точку, лежащую вне прямой, можно провести только одну линию, параллельную данной прямой. Еще до Н. Лобачевского пытались доказать, что это не аксиома (т.е. положение, принимаемое без доказательства), а теорема, логически выводимая из остальных аксиом.

Также и Н. Лобачевский пытался поначалу отыскать такое доказательство. Однако, убедившись в тщетности задуманного, он вскоре круто меняет линию исследования. Если постулат недоказуем, невыводим из других, значит, он от них независим. Но тогда отчего бы не построить геометрию, опираясь на противоположный тезис: через точку вне прямой можно провести по крайней мере две прямых, параллельных данной? Так

родилась великая проблема, решение которой перевернуло наши представления о пространстве.

Когда проблема наметилась, предстоит корректно сформулировать ее, всесторонне осмыслить, или, как говорят, «войти в проблему». Тщательное продумывание предполагает расчленение ее на части – подпроблемы, перекомбинацию частей, введение новых, вспомогательных компонентов, варьирование условия («А что, если задачу поставить по-другому? Например, в общем виде, абстрактно?»). Благодаря такому «переворачиванию» проблемы на все лады, она прочно укладывается в сознании. Все ее оттенки и изгибы становятся хорошо знакомыми, и, совершая «прогулку» по материалу, исследователь способен «пройти» его, что называется, наизусть.

Второй этап – *инкубационный*. Он достаточно длителен, простираясь от момента осознания проблемы до получения ответа, т.е. от этапа подготовки до озарения. Другие характеризуют эту пору поисков как «стадию оформления мысли» (А. Колмогоров), «настороженность к теме» (Д. Пойа) и т.д.

На этом отрезке исследователь покоряется стихии мысли, отдавая себя во власть бесконтрольных состояний. Именно такие состояния и помогают творить.

Принципиально новое знание невыводимо из прежней науки, и ученому неведом алгоритм его извлечения, он апеллирует к внелогическим методам поиска, ищет ответ в интуиции. Когда проблема не решается в лоб, полезно «отправить» ее в подсознание. Получив задание, мысль будет продолжать работу, притом независимо от того, думаете вы над этой проблемой непосредственно или нет. Идет бессознательная, неосознаваемая умственная деятельность. Так часто бывает и в обыденной жизни. Отчаявшись что-либо припомнить, лучше не напрягать мозг, а заняться другим делом. Отвлечение даст возможность мыслям идти своим порядком, непринужденно. В то время как попытки направить их в ту или иную сторону только мешают, поскольку нередко ведут по ложному пути. Смещение мыслительных процессов в сферу бессознательного несет освобождение от сковывающих нас схем, готовых методов, установок. Создаются условия, когда мысль проявляет себя смелее, решительнее в поиске нового. Чтобы оттенить бесконтрольность инкубационного этапа, предлагают говорить вместо «я думаю» — «думается», подобно тому как говорят «светает», ибо здесь включаются такие механизмы мысли, коими мы не можем управлять.

Плодотворными считаются отпуска, туристические походы, а чаще всего – часы прогулки. Так, на прогулке по окраинам Глазго пришла Д. Уатту в 1765 г. идея паровой машины. На прогулке же явилась «отцу русской авиации» Н. Жуковскому знаменитая формула подъемной силы крыла, а В. Гамильтону – решение проблемы гиперкомплексных чисел.

Открытие приходит, так сказать, в «нейтральное» время, в часы, не посвященные специально открытиям, и в этом, по-видимому, скрыт секрет творчества. Подоплека такова, что все попытки сознательного решения,

решения под контролем «я», обязательно поведут исследователя дорогой испытанных методов и концепций, т.е. туда, где открытий быть не может. Тем и хороши прогулки и другие подобные занятия, что сознание отключено от активного вмешательства в процесс, а поиск отдан на волю непреднамеренных, отходящих от норм науки сцеплений идей.

По той же причине плодотворными для творчества оказываются состояния перехода от глубокого отдыха, каким является сон, к бодрствованию. Так, Р. Декарт писал, что «творческое настроение» посещает его, когда он бывает в расслабленном состоянии от сна. По собственному признанию К. Гаусса, перспективные догадки приходили ему в минуты пробуждения. Есть аналогичные свидетельства и многих других ученых.

Как видим, свидетельств о неосознаваемой, бессознательно-интуитивной мысленной деятельности достаточно много, чтобы исключить случайность совпадений. Очевидно, надо признать, что мозг ученого, обеспокоенного проблемой, никогда полностью не отключается от нее. Как считает советский физиолог Н. Бехтерева, когда исследователь отвлекается от своей основной работы, «ответственные» за нее клетки мозга не просто отдыхают. Происходит пока необъясненное: мысли в это время словно «дозревают», чем и объясняются внезапно пришедшие решения, над которыми ученый бился как будто безуспешно. Таким образом, идет подспудная, отмеченная глубинными течениями деятельность бессознательных поисков.

На этапе инкубации большая роль принадлежит фантазии, воображению – единственному, можно сказать, опорам интуитивной мысли. Фантазия есть способность на основе имеющихся чувственных образов создавать новые, необычные – такие, каких еще не было. Но ведь научное открытие и представляет собой нечто такое, чего не содержится в нашем знании.

Особое внимание привлекает творчество во сне – видимо, самое парадоксальное во всем парадоксе, зато и наиболее сильно заявляющее о скрытой инкубационной работе мозга.

Интересный случай описан А. Пуанкаре. После нескольких неудачных попыток проинтегрировать уравнение, полученное в одном из исследований, он решил вечером лечь пораньше спать. Сделал это намеренно, чтобы и встать пораньше, зная, насколько успешнее идет работа по утрам. Но вот уже на исходе ночи ему снится, что он читает студентам лекцию. И как раз по теме, которой занимался накануне. Более того, снилось, что он на доске интегрирует именно то уравнение, которое ему никак не давалось. Проснулся. Понял, что это только сон. Но, припомнив его содержание и записав на бумаге ход рассуждений, обнаружил, что решение верно. И это у А. Пуанкаре не единственный случай.

Идея периодического закона явилась Д. Менделееву во сне после серии утомительных, изо дня в день продолжавшихся занятий по классификации химических элементов. О знаменитом химике Ю. Либихе химик же

В. Оствальд в книге «Великие люди» пишет, что он часто находил решение ночью, будучи как бы в заколдованном состоянии дремоты и грез.

Во сне мозг отключен от внешних каналов поступления информации. Между тем его деятельность продолжается.

Структуры мозга не могут не функционировать. Как полагали уже древние (Аристотель, Гиппократ), сновидения – это проявления мышления, продолженного во сне. Но в изоляции от внешних, рассеивающих внимание факторов мысль способна извлечь из запасов памяти такие знания, которые в состоянии бодрствования остаются в тени, затушеваны наплывом «текущей» информации.

Не будем забывать, что успех рассматриваемого здесь инкубационного этапа научного творчества покоится на доверии и интуиции. А это разгул образного, бессловесного мышления. Сны же, как правило, протекают в образном исполнении. Не зря говорят: «видел сон».

Итак, инкубационные волнения завершаются, если поиск удачен, результатом, который приходит внезапно, как плод свободного соединения идей. По этой внезапности он и назван *озарением*. Так мы вступаем в третий этап научного творчества. Скорее даже не этап, а акт, который характеризуется мгновенностью протекания. Его сравнивают с бурно хлынувшим потоком света, с неожиданно засиявшим ярким свечением.

И тут в мой разум грянул блеск с высот,
Неся свершенья всех его усилий.

А. Данте

Суть озарения в том, что элементы проблемной ситуации, т.е. знания, непосредственно участвующие в решении проблемы и находившиеся до сих пор в разрозненном состоянии, замыкаются в единую целостную структуру.

Зависимый от пустяка, можно сказать, капризный нрав озарения по праву характеризуется как случайность. Действительно, нет, наверное, такого открытия, которое не вершилось бы случаем. «Биографии» научных событий полны таких описаний. Обратимся к некоторым иллюстрациям.

В начале XIX века французский врач Р. Лаэннек изобрел чудесный медицинский прибор для выслушивания больных – стетоскоп. Напомним читателю, что это полая трубка, сходная с деревяшкой, на которую наматывают нитки, только раза в три побольше и с одной стороны (той, что прикладывается к уху) сильнее расширенная. Вот и вся премудрость, но какое облегчение врачу!

Р. Лаэннек пришел к своему открытию так. Он знал, что еще древние, Гиппократ например, умели выслушивать ухом некоторые болезненные проявления в организме человека. Конечно, слушать ухом во многих отношениях неудобно, но без этого врач лишался важного источника сведений о больном.

Как-то Р. Лаэннек проходил двор Лувра и обратил внимание на игру, которая занимала ребятишек. Один мальчуган царапал булавкой по торцу бревна, а другой, приложив ухо к противоположному торцу, слушал. Здесь и родилась мысль о стетоскопе, описание которого было дано в 1819 г. в «Трактате о косвенной аускультации» (выслушивании). В нем описывались методы диагностирования легочных заболеваний с помощью нового прибора. Он работает и поныне. Правда, в последние десятилетия его потеснил (но не вытеснил) мягкий стетоскоп, однако старое изобретение исправно служит людям.

А что же случайность?.. Не попадись на глаза играющие дети, кто знает, какое другое событие замкнуло бы цепь размышлений Р. Лаэннека или другого врача.

И все же случай нуждается в деликатном обслуживании. Конечно, внешне озарение приходит вдруг, как счастливое наитие, внезапное прозрение. Между тем ученый уже давно подготовлен к нему, овладел огромной массой сведений, сжился с проблемой, не однажды подступался к ней с разных сторон. Вспышка и может замыкать цепь раздумий лишь у человека, выстрадавшего открытие. То, что нужно знание, завершающее поиск, оказывается «под рукой», всплывая в критическую минуту из пластов бессознательного, этот факт, можно сказать, закономерен и неумолим. Случай обслуживает лишь умы, к его приему расположенные.

Инкубационные циклы длятся целые годы, иногда десятилетия. В течение 13 лет академик В. Филатов сосредоточенно и углубленно искал пути пересадки роговой оболочки. И нашел. Закон тяготения вынашивался И. Ньютоном более 20 лет. Столько же вызревала у его соотечественника В. Гарвея мысль о кругах кровообращения. Два десятилетия понадобилось также и французам А. Амперу, чтобы затем в один миг (под влиянием опытов датского исследователя Х. Эрстеда) все понять и в течение буквально двух недель разработать теорию электродинамики.

Итак, состоялся третий, решающий акт научного поиска. Он увенчал усилия рождением новой идеи. Но мы обязаны ее появлению на свет интуиции.

Фактически новая идея вначале не более чем гипотеза, которую еще надо отстоять, обосновать. И лишь пройдя «чистку» через доказательство, она получает «прописку» в науке. Эта процедура и называется *доведением результата* или «логической подборкой» – заключительным шагом на пути научного открытия. Здесь снова вступает в силу логика.

Доказательство представляет совокупность логических действий, призванных убедить в истинности родившейся идеи. Вначале формулируется тезис, т.е. утверждение, которое хотят доказать. Затем выстраивается цепь аргументов – фактов, определение законов или аксиом и теорем (в математике), истинность которых не вызывает сомнений. Опираясь на все это, последовательно, строго соблюдая правила логики, идут от одного утверждения к следующему (демонстрация), пока не будет получен вывод, составляющий суть открытия (тезис доказательства).

Важно установить, что получаемые из новой теории следствия не расходятся с имеющимися опытными данными, что нет буквально ни одного «порочающего» теорию факта. И здесь, вообще говоря, существует определенная несправедливость, так сказать, «неравноправие». Пусть имеется тьма фактов, которые подтверждают вывод, но достаточно одного, что голосует против, как теория будет объявлена ошибочной. Впрочем, не всегда заслуженно, поскольку добытые наукой данные не «безгрешны»; ведь возможны ошибки измерения, неточность эксперимента и даже подтасовка данных.

Чтобы усилить доказательность новой теории, полезно иногда попытаться ее... опровергнуть.

Еще один подход к опровержению как способу доказательства проводит австрийский методолог К. Поппер. Он исходит из того, что любая научная теория имеет границы применимости, за которыми она перестает «работать». Нет таких теорий, которые объясняли бы все. Так вот, доказательство мощи какой-либо концепции и состоит в том, чтобы прочертить линию, четко разделяющую области, где наша идея эффективна и где она оказывается ошибочной. К. Поппер в связи с этим заявляет: теория доказывается не столько тем, что подтверждается, сколько тем, что она опровергается (фальсифицируется).

Таким образом, доказательство и опровержение — два логических приема, которые в самых добросовестных случаях не лежат каждый на отдельной полочке, а вместе служат утверждению новых истин. Во всяком случае, такое совместное использование их усиливает логическую оснащенность рассматриваемого этапа научного поиска. Впрочем, иногда проводят еще и анализ доказательства, выясняя, что именно оно доказывает.

Логика не ставит перед собой иных целей, кроме выполнения контрольных функций и преобразования имеющегося знания из одних форм в другие. Поэтому к ней вполне применимо замечание, направленное известным немецким ученым Г. Вейлем по адресу математики, средствами которой производится количественная переработка любой по содержанию информации. Математика, — говорит Г. Вейль, — это мясорубка. И если вы засыпете в нее лебеду, то и на выходе увидите тоже лебеду.

11. ВЗАИМОСВЯЗЬ И ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ НАУКИ

Различные научные направления вовсе не обособлены — они взаимосвязаны по многим признакам. Кроме того, они перекрываются, имея общие области. Это иногда проявляется и в названиях: физическая химия, биохимия, физическая электроника, лазерная оптика, математическое моделирование и САПР, вычислительная математика, вакуумная и плазменная электроника, математическая физика, экономика и управление, математическое и программное обеспечение ЭВМ, математические методы экономики и т.д.

Общим для всех научных направлений являются научная методология, основанная на математической формализации решения задач и использовании на этой основе вычислительной техники и информационных технологий.

При создании инструментальных средств исследований во многих областях науки используются достижения физики и химии, радиофизики, спектроскопии, акустики, лазерной и ядерной физики, СВЧ-электроники и т.д.

Примеры

1. Применение методов теории оптимального управления в электронике СВЧ для поиска и оптимизации процессов взаимодействия электромагнитных полей нерегулярных структур с электронными потоками. Обратное влияние – создание АУС – метода решения задач оптимального управления нелинейными динамическими процессами.

2. Применение в медицине:

- а) биохимических методов;
- б) радиологических методов;
- в) рентгенологии;
- г) СВЧ- и КВЧ- диагностики и терапии;
- д) томографии – объединения акустики и информационной технологии – математической обработки измерений;
- е) люминесцентных меток;
- ж) методов ядерного магнитного резонанса (ЯМР), электронного парамагнитного резонанса (ЭПР);
- з) спектроскопии;
- и) радиофизических методов (киральные среды) и электродинамических устройств;
- к) электрохимических методов;
- л) сверхмощных СВЧ-полей и т.д.

3. Методы гидродинамики (метод крупных частиц) в электронике СВЧ.

4. Радиомониторинг в экологии (космическое зондирование, атмосферное и т.д.). То же – в лесном хозяйстве, сельском хозяйстве.

5. СВЧ-методы в сельскохозяйственных отраслях науки:
- а) контроль влажности материалов и продукции;
 - б) дезинсекция почвы и посадочного материала;
 - в) СВЧ-сушка материалов;
 - г) исследование возможности повышения всхожести культур при воздействии СВЧ-облучения;
 - д) космический контроль состояния посевных площадей и т.д.
6. СВЧ-методы в фармакологии и эпидемиологии:
- а) СВЧ-дезинфекция инструментов;
 - б) СВЧ-дезинфекция исходных материалов для изготовления лекарств;
 - в) СВЧ-дезинфекция почты и других транспортных товаров (сибирская язва).
7. Археология – радиоуглеродные методы.
8. Геология: сейсморазведка, радиоразведка, обработка информации при оконтуривании месторождений, подземная радиолокация.
9. Акустическая локация (сонары): методы электродинамики и радиофизики привели к прорыву для подводного флота – распространение акустических волн в слоистой морской воде происходит как в волноводе. Использование электродинамических методов расчета привело к увеличению радиуса действия советских сонаров от 2–10 до 10 000 км.
- В заключение отметим, что современное развитие наук невозможно без использования информационных технологий и вычислительной техники, которые привели не только к интенсификации научных исследований, но и к их качественно более высокому уровню.
- Математическое моделирование и вычислительный эксперимент позволяют решать качественно новые задачи предсказания новых явлений, законов, закономерностей, т.е. той основы, которая определяет скачки в развитии различных областей науки и формирует новые направления. Поэтому наш век часто называют веком информатики.

12. СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ И РАЗНОСТОРОННОСТЬ

«Специалист подобен флюсу:
полнота его одностороння»

К. Прутков

«Афоризмы»

«Специалист по левой ноздре»

Ф.М.Достоевский

«Братья Карамазовы»

Научные исследования в данной области выполняют, что само собой разумеется, специалисты в этой области, т.е. научные работники, получившие специальную подготовку на «специальной кафедре», в научной школе (что еще важнее) и имеющие достаточный профессиональный опыт. Это «необходимые условия» для успешного выполнения исследований. Но достаточные ли? В связи с идеями предыдущего раздела (взаимосвязанность научных направлений) возникает мысль, что – нет (или не вполне). Действительно, для обеспечения высокого научного уровня исследований необходима разносторонность, достаточное владение методами и знаниями других научных направлений. Причем в первую очередь – именно методами. Разносторонность не сводится только к эрудиции, т.е. знанию в разнообразных областях. Эрудиция важна только в телевизионных денежных играх типа «Что, где, когда» и множестве подобных. В научных исследованиях важно владение арсеналом методологий различных научных областей. Иногда еще более важна «свежесть взгляда» неспециалиста, но, конечно, творчески одаренного человека, лишённого набора предрассудков, установившихся «канонов» и запретов типа «этого не может быть, потому что этого не может быть никогда», присущего специалисту. У классического специалиста поле зрения сужено, лишено «бокового зрения», как у зашоренной лошади.

Весьма показательным примером в отношении «свежести взгляда» является изобретение лампы бегущей волны (ЛБВ) Рудольфом Компфнером. Р. Компфнер родился в 1909 г. в Вене. По окончании Венской высшей технической школы в 1933 г. он получил диплом инженера-архитектора. В 1934–1940 гг. продолжил обучение в Англии, где у него проявилась склонность к физике. В 1940 г. в связи с началом второй мировой войны он (как иностранец-австриец) был интернирован, но продолжал самообразование в области физики (электроники). На него обратили внимание как на перспективного научного работника, и в 1942 г. он был освобожден и приступил к работе в лаборатории сверхвысоких частот (СВЧ) ВМС. Его вклад в электронику СВЧ намного превосходит достижения других (также выдающихся) ученых. В чем же суть изобретения Р. Компфнера (все же, скорее, это – открытие)?

Как в радиотехнике, так и в электронике СВЧ к 40-м годам прошлого века сложилось твердое убеждение относительно усилительных устройств:

произведение полосы усиления на коэффициент усиления $\frac{\Delta f}{f_0} G$ есть величина постоянная для данного типа устройства (это и сейчас сообщается слушателям радиотехнических курсов). Иначе говоря, можно увеличить коэффициент усиления G , но тогда полоса $\frac{\Delta f}{f_0}$ уменьшится так, что $K = \frac{\Delta f}{f_0} G$ – показатель качества устройства – останется прежним. И это совершенно справедливо для традиционных резонансных усилителей с дискретным («ударным») взаимодействием носителей заряда, определяющих ВЧ-ток, с ВЧ-полем в каскадах усилителя. Если число каскадов остается тем же, то для увеличения G нужно поднять интенсивность взаимодействия тока с полем, а это можно сделать, лишь увеличив нагруженную добротность контуров каскада, т.е. пропорционально уменьшив $\frac{\Delta f}{f_0}$. Если бы

Р. Компфнер получил радиотехническое образование, он непременно воспринял бы этот «постулат» как радиотехнический закон природы и наверняка не помышлял бы об устройстве, в котором он не выполняется. К счастью, он был архитектором, а не радиотехником и был лишен «шор» в форме описанного постулата.

Мысль Р. Компфнера шла в таком направлении: действие есть сила, умноженная на время ее действия; при дискретном взаимодействии время ограничено малой долей периода колебания поля (иначе за период ее действие усреднится и будет равно нулю); но из-за такого малого времени сила (поле) должна быть большой – вот и возникает необходимость в резонансных контурах (фильтрах и т.д.). Это – в обычных каскадных усилителях. Но кто запрещает устроить процесс взаимодействия по-другому: малая сила действует на электроны длительное время, сохраняя свою фазу? Тогда необходимая величина действия будет достигнута так же успешно, как и при «ударном» дискретном взаимодействии. Вопрос, следовательно, заключается в том, как сопроводить электрон длительное время действующим на него полем приблизительно в одной и той же фазе. Это уже техническая задача, и она была решена Р. Компфнером блестяще. Он предложил направить электромагнитную волну вдоль спирального направляющего проводника (просто – спирали) с диаметром a и шагом h . Внутри спирали, по ее оси, нужно пропустить электронный поток, взаимодействующий с полем спирали. Для создания необходимого условия приближенного сохранения фазы поля, действующего на данный электрон, движущийся по оси спирали со скоростью V , нужно, чтобы эта скорость была близка к осевой (z) фазовой скорости волны в спирали $V_{\phi z}$ (т.е. $V_{\phi z} \approx V$). Фазовую скорость $V_{\phi z}$ приближенно можно оценить так: вдоль провода волна бежит со скоростью света C (это приближение достаточно справед-

ливо); тогда ее осевая фазовая скорость $V_{\phi Z} = \frac{h \cdot C}{\pi a}$ (это достаточно хорошее приближение, как показывают строгие электродинамические расчеты).

Итак, выбираем V , a , h так, что $V = C \frac{h}{\pi a}$, и устройство готово – это ЛБВ.

Электроны в потоке под действием сопровождающего поля сдвигаются: ускоряющиеся догоняют замедляющиеся – образуется ВЧ-составляющая тока. Эта составляющая возбуждает поле в спирали, усиливая первоначальную волну. Усиленная волна усиливает ВЧ-ток, он усиливает поле... Взаимодействие имеет типично экспоненциально нарастающий характер (с небольшой коррекцией это так и есть на самом деле). Каков же итог? Что за свойства у этой ЛБВ? Из нашего качественного описания следует: а) полоса очень широкая и определяется только геометрией спирали, спираль не резонансна; б) коэффициент усиления при заданных свойствах пучка и спирали определяется ее длиной (экспоненциальный рост мощности волны по длине).

Таким образом, «постулат» $\frac{\Delta f}{f_0} G = \text{const} = K$ не имеет к ЛБВ никакого отношения: удваивая длину спирали вдвое, мы увеличиваем G (в децибелах) вдвое, а $\frac{\Delta f}{f_0}$ остается без изменения.

Добавим, что ЛБВ – неотъемлемая часть нашей современной цивилизации: радиолокация, космическая техника, спутниковое телевидение, системы телекоммуникаций и т.д. – все это невозможно без ЛБВ. И потенциал ЛБВ далеко не исчерпан.

13. ГИПОТЕЗА И ОПЫТ

Одним из важнейших этапов познания мира, а также любого глубокого исследования явлений реального мира является формирование или выдвижение научной гипотезы о структуре каких-либо объектов или элементов реальной действительности, о процессах их образования, взаимосвязях, сценарии развития событий (парадигмы, как иногда выражаются в информатике) и т.д.

Гипотеза в физике – сплав возникающих и ассоциирующихся образов физической реальности и физической интуиции исследователя. Гипотеза, даже если она в конечном счете оказывается ошибочной, – мощный стимул в развитии исследований, направленных на ее проверку. На этом пути происходит множество малых и больших открытий, пополняющих и развивающих наши знания о реальном мире и происходящих в нем процессах.

Утверждает или опровергает гипотезу опыт? Как неоднократно утверждал Эйнштейн, «все, что мы знаем о реальности, исходит из опыта и завершается им». Так что единственный путь проверки гипотезы – опыт, эксперимент, причем поставленный так, что позволяет получить однозначный ответ, т.е. глубоко продуманный и убедительный в своей сущности опыт.

Поскольку гипотезу гораздо проще опровергнуть, чем доказать (достаточно один опровергающий ее результат), может быть использован и «мысленный эксперимент», приводящий в логической цепи следствий гипотезы к абсурдному или противоречивому результату.

Ни одно научное открытие не совершается без умения предвидеть, прогнозировать предстоящий эксперимент, опыт. Научное предвидение – важнейшее условие любого научного исследования, поскольку помогает предусмотреть и свести к минимуму возможные ошибки и неудачи. Конкретной формой научного предвидения выступает гипотеза. После определения объекта и предмета, цели и задач исследования, при разработке экспериментальной работы и ее осмыслении постоянно приходится возвращаться к гипотезе как опорной точке научно-исследовательской работы. Гипотеза (греч. hypothesis – основание, предположение) – это предположение, приблизительный ответ на поставленные задачи исследования; одновременно это допущение того, в какой взаимосвязи находится изучаемое явление с другими, каковы его внутренняя структура, сущность, движущие силы и т.д. Выдвижение гипотезы есть путь к открытию связей между явлениями. Гипотеза как средство перехода от старого знания к новому неизбежно вступает в противоречие с имеющимися представлениями. В форме гипотезы происходит реальное движение познания к новым, более глубоким, обобщенным представлениям, к раскрытию новых законов и закономерностей, принципов и др.

Гипотеза является системой научного познания, которая складывается из различных мнений, объединяющим элементом или идеей в которых

выступает предположение. Предположение в гипотезе служит средством познания предмета, его основных взаимоотношений и закономерностей; сведения, которые оно содержит, имеют вероятностный характер; в процессе обоснования и развития гипотезы оно должно быть доказано, отвергнуто или заменено другим; на его основе создается система знаний, которая помогает вскрывать новые факты, закономерности и является инструментом движения познания.

Эвристическая ценность гипотезы заключается в том, что в ней известные познания соединяются с новыми, с тем, что мы ищем. Гипотеза появляется одновременно с ведущей идеей исследования и ею определяется.

Как отмечалось выше, любая теория, выдвигаемая в науке, независимо от того, была ли она опровергнута практически сразу или стала подтвержденной и общепризнанной, вносит свой вклад в развитие науки. Каждое опровержение следует рассматривать как большой успех, и успех не только ученого, который опроверг теорию, но также и того ученого, который создал опровергнутую теорию и тем самым первым, хотя бы и косвенно, предложил и инициировал опровергающий эксперимент. В качестве примера можно привести теорию Бора, Крамерса и Слэтера (1924), которая базировалась на интуитивной идее, что законы сохранения импульса и энергии выполняются для статистических средних. Эта точка зрения была опровергнута опытами Боте и Гейгера (в 1925 г. была доказана справедливость законов сохранения энергии и импульса при рассеянии гамма-квантов на электронах для каждого элементарного акта рассеяния). Опровержение это имело огромное значение для истории квантовой механики, ибо в результате возникшего кризиса родилась на свет так называемая «новая квантовая теория», опиравшаяся на работы Борна и Гейзенберга, Шредингера и Дирака.

Другим аналогичным и весьма важным примером является гипотеза неподвижного эфира.

Учение об электромагнетизме в электродинамике Максвелла–Лоренца конца XIX века выдвинуло гипотезу о существовании эфира – особой гипотетической всепроникающей среды, в которой происходят все электромагнитные явления. Согласно гипотезе Лоренца эфир неподвижен и не участвует в движении тел. Из этой гипотезы следует, что с помощью светового луча можно наблюдать «эфирный ветер», так как скорость света по отношению к Земле должна быть равна $C + V$ или $C - V$ в зависимости от направления вектора скорости света (C) по отношению к направлению орбитальной скорости Земли (V). Тем самым из измерений разности скорости света «вперед» и «назад» можно вычислить абсолютную скорость движения Земли в мировом пространстве.

Проверка этой гипотезы состоялась в двух опытах Майкельсона (1881) и Майкельсона–Морлея (1887), в которых использовался интерферометр Фабри–Перо. Смещение в долях интерференционной полосы по

расчету должно быть: $\Delta = \frac{2l V^2}{\lambda C^2}$, где l – длина плеча интерферометра; λ – длина световой волны (желтая линия Na). В последнем опыте $l = 11$ м и ожидаемое $\Delta = 0,4$. Опыт, как известно, дал $\Delta = 0$, т.е. отрицательный результат: независимо от направления скорость света одинакова.

Так была опровергнута гипотеза о неподвижном эфире. Вместо нее возникла специальная теория относительности (СТО) Лоренца–Минковского. В ее основе два постулата: 1) абсолютная скорость неопределима, эфира не существует; 2) скорость распространения света в пустоте $V_C = C$ постоянна и не зависит от движения источника. Последнее означает следующее. Пусть имеются две движущиеся равномерно относительно друг друга системы координат $K: x, y, z, t$ и $K': x', y', z', t'$. Считаем, что система K' движется относительно K со скоростью V в направлении x . Полагая, что сферическая волна испускается в момент $t = t' = 0$ из общего в этот момент начала координат, имеем

$$C^2 = \frac{x^2 + y^2 + z^2}{t^2} = \frac{(x')^2 + (y')^2 + (z')^2}{(t')^2} = \frac{R^2}{t^2} = \frac{(R')^2}{(t')^2}.$$

Отсюда следует, что интервал в пространстве – времени $S^2 = C^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ инвариантен (в данном случае $S^2 = 0$): $dS' = dS$. Это также вытекает и из уравнений Максвелла. При этом координаты пространства-времени в той и другой системах связаны преобразованиями Лоренца: $t' = \left(t - \frac{Vx}{C^2} \right) \gamma$,

$x' = (x - Vt) \gamma$, $y' = y$, $z' = z$, $\gamma = \left(1 - \frac{V^2}{C^2} \right)^{-1/2} > 1$; R, R' определяют фронт сферической волны в K и K' .

Преобразование скоростей, вытекающее из преобразований Лоренца, имеет вид

$$V'_x = \frac{V_x - V}{\Gamma}, V'_y = V_y \frac{\gamma}{\Gamma}, V'_z = V_z \frac{\gamma}{\Gamma}, \Gamma = 1 - \frac{VV_x}{C^2}.$$

Уравнение движения, полученное Пуанкаре: $\frac{d}{dt}(m\vec{V}) = \vec{f}$, $m = m_0 \gamma$, m_0 – масса покоя материального тела в системе K .

СТО Лоренца–Минковского–Пуанкаре неоднократно подтверждалась как в специальных опытах, так и при исследовании различных устройств и приборов.

Существуют разные типы гипотез, определяемые их познавательной значимостью. Первичная, или рабочая, гипотеза определяет направление исследования, его основные задачи, критерии классификации и оценки фактов. Такие гипотезы применяются чаще всего тогда, когда исследуемая

область мало разработана. Они играют вспомогательную роль при сборе материала и его первоначальной классификации. Следует заметить, что перед тем как начать проводить опыты, которые смогли бы определить истинность выдвигаемой гипотезы, вначале каждую выдвигаемую гипотезу следует подвергать предварительному анализу на наличие внутренних противоречий (проводить мысленный эксперимент), так как это позволит сэкономить время и средства, затрачиваемые на исследование. Результаты исследования, полученные на основе рабочей гипотезы, создают предпосылки для дальнейшего познания и помогают сформулировать научную, или реальную, гипотезу. Такая гипотеза возникает на более глубокой теоретической основе и имеет более точную форму выражения. В ней высказывается предположение о существующих отношениях между явлениями или их закономерностях, о существовании определенного явления, свойства или результата. В экспериментальных исследованиях предположение может выражать отношение между зависимой и независимой переменными величинами. Различия между первичной рабочей гипотезой и реальной (которую уже можно называть теорией) – относительны. В процессе познания первая плавно превращается во вторую. В качестве примера, демонстрирующего это преобразование, можно привести развитие гипотезы Дирака: решая систему четырех линейных дифференциальных уравнений первого порядка для четырех независимых волновых функций, Дирак получил в качестве одного из основных математических следствий такие решения, которые соответствовали отрицательным значениям массы покоя (полной энергии) для свободной частицы.

Обычно считают, что сравнение с опытом этих следствий сразу привело к предсказанию позитрона. Однако в действительности дело обстояло намного сложнее. Первоначальное сопоставление следствий уравнений Дирака с опытом привело к таким предсказаниям, после которых уравнение казалось невозможно спасти.

Первоначально Дирак считал, что его уравнение описывает поведение отдельно взятой квантово-механической частицы. Решение уравнений Дирака указывало на существование областей с положительной и отрицательной энергией, разделенных энергетическим барьером в $2mc^2$. В соответствии с общими принципами квантовой механики частица с зарядом e и массой m оказывалась способной проходить сквозь барьер между этими областями под влиянием сколь угодно малого электромагнитного воздействия и попадать в область отрицательных энергий. Ввиду того что уравнение Дирака не содержало никаких ограничений снизу на возможную величину отрицательной энергии ($-\infty < E \leq mc^2$), любая частица, однажды попав в область с отрицательной энергией и стремясь к состоянию с наименьшей энергией (принцип устойчивости системы), должна падать в бездонную энергетическую яму и с равной нулю вероятностью вновь возвращаться в область положительных энергий.

Из этого можно было сделать выводы, явно противоречащие опыту, о возможности самопроизвольного исчезновения электронов и, как следствие, о неустойчивости атома водорода. Эти парадоксальные следствия были впервые обнаружены Клейном вскоре после публикации теории релятивистского электрона.

После того как было обнаружено рассогласование уравнения с опытом, Дирак перестроил первоначальную его интерпретацию. Он отказался трактовать это уравнение как описание поведения одной частицы. Теоретическая модель, благодаря которой математический формализм Дирака превратился в эффективно работающий аппарат, была связана с идеей многочастичных систем. В этой модели для свободных частиц запрещалась область отрицательных энергий, несмотря на то что наличие двух знаков для параметра энергии являлось прямым математическим следствием строгого решения уравнения. Этот запрет был получен с помощью использования принципа Паули, сформулированного, как известно, для системы электронов. Все состояния с отрицательной энергией в рамках новой интерпретации предполагались целиком заполненными электронами. Такой квазиконтинуум электронов, согласно принципу Паули, внешне никак не мог себя проявить, поскольку перемещение (движение) электронов внутри континуума, будучи необходимым условием его экспериментального обнаружения, предполагает изменение энергии электронов, что невозможно, поскольку все энергетические состояния уже заполнены. Единственная возможность обнаружить хотя бы один экземпляр из этого континуума заключалась в переводе частицы в зону с положительной энергией, где имелись свободные уровни. Этого можно было добиться при энергетических воздействиях величиной не менее чем $2mc^2$ (величина энергетического барьера). Но при такого рода извлечении электрона из континуума образуется свободное место (дырка), которое ведет себя как состояние с положительным зарядом и положительной энергией (поскольку для того, чтобы ликвидировать это состояние, нужно, по определению, поместить туда электрон с отрицательной энергией). Данное незаполненное состояние уже может проявлять себя экспериментально. Дырка в континууме электронов может быть заполнена электроном из соседней ячейки континуума, в которую может перескакивать электрон из другой ячейки, и т.д. Эффективно этот процесс должен проявляться как принципиально наблюдаемое движение положительного заряда с положительной энергией. Так из самих свойств новой модели естественно следовало предсказание позитронов.

Правда, интерпретация дырки как позитрона тоже потребовала определенных творческих усилий. Дирак вначале ассоциировал дырку с протоном. Но вскоре Р. Оппенгеймер установил, что если дырку интерпретировать в качестве протона, то такая интерпретация сохраняет вытекавший из парадокса Клейна вывод о неустойчивости атома водорода (время жизни атома водорода оказывалось порядка 10^{11} секунды). Чтобы найти выход из этого противоречия, Оппенгеймер предложил рассматривать дырки как

положительные электроны, отличные от протонов. Он же ввел термин «позитрон». Г. Вейль показал, что масса дырок должна совпадать с массой электрона. Примерно спустя три года после новой интерпретации Дираком квантово-релятивистского уравнения для электрона, в 1932 г. К. Андерсон обнаружил позитрон экспериментально.

Согласно новой интерпретации уравнения Дирака, всякая появившаяся в континууме дырка (позитрон) может быть уничтожена, когда в нее попадает электрон из зоны положительных энергий. Такой переход электрона должен сопровождаться выделением квантов энергии (величиной не менее $2mc^2$), подобно тому как выделяется энергия при захвате свободного электрона атомом, у которого был предварительно удален электрон с одной из внутренних оболочек. Нетрудно заметить, что из свойств новой теоретической модели прямо вытекала идея аннигиляции.

Проведенная Дираком реинтерпретация своего уравнения устранила рассогласование последнего с опытом. Уравнение не только было приведено в соответствие с экспериментами, но и позволило предсказать совершенно неожиданные явления: существование позитронов и эффект аннигиляции и рождения пар.

Из приведенного выше примера можно сделать вывод, что любая выдвинутая гипотеза проходит целый ряд процедур, прежде чем приобретает статус обоснованной. Среди них можно выделить: 1) разъяснение выдвигаемой гипотетической модели; 2) отображение этой модели на экспериментально наблюдаемые взаимодействия природных объектов; 3) сопоставление системы уравнений и модели с данными опыта; 4) перестройку первичной модели, если получено рассогласование с опытом; 5) обоснование новой модели; 6) новую проверку опытом системы и так далее, до тех пор пока гипотеза не будет опровергнута или подтверждена опытами.

14. ИНТУИЦИЯ И АНАЛИЗ

Интуиция и анализ – две стороны научного поиска. Интуиция предсказывает направление поиска или рецепт решения задачи, иногда и само решение. Анализ предполагает количественное, по возможности точное, исследование в этом направлении. Аналитический этап может либо привести к обоснованию или подтверждению интуитивного предложения, либо показать его несостоятельность. В первом случае возможно возвращение к интуитивным соображениям уже на более высоком уровне и затем новое обращение к более сложной аналитической проверке.

В физических задачах сильнейшим инструментом аналитической проверки интуитивных предположений являются законы сохранения или интегралы движения, которые аналитически (без дифференциальных соотношений) дают связи между фазовыми переменными. Такие интегралы при движении частиц в заданных полях имеют место, когда поля обладают одним из видов симметрии. Наиболее ценные из них для аналитической проверки гипотез те, что не содержат полевых составляющих.

Интегралы легко получаются из первого уравнения движения в форме Лагранжа:

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{\partial L}{\partial q_i},$$

где q_i – обобщенная координата;

P_i – соответствующий ей обобщенный импульс.

$$P_i = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}, \quad \dot{q}_i = \frac{dq_i}{dt}.$$

Для электрона функция Лагранжа имеет вид

$$L = -m_0 c^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{1/2} - e\vec{V}\vec{A} + e\Phi,$$

где e , m_0 – заряд и масса покоя электрона;

\vec{V} – скорость электрона;

\vec{A} , Φ – векторный и скалярный потенциалы поля.

Примеры

1. Трансляционная симметрия: $\frac{\partial L}{\partial z} = 0$, $P_z = m\dot{z} - eA_z = const$. Если

$A_z = 0$ или среднее по времени $\bar{A}_z^t = 0$, то $m\dot{z} = const$, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}$.

Таким образом, в этом поле при торможении электрона ($m \downarrow$) его осевая скорость $V_Z = \dot{z}$ увеличивается – релятивистское ускорение e .

$$2. \text{ Азимутальная симметрия: } \frac{\partial L}{\partial \varphi} = 0, \quad P_\varphi = mr^2\dot{\varphi} - erA_\varphi = \text{const.}$$

В определенных приближениях отсюда следует

$$B_0(a^2 - r_0^2) = \text{const},$$

где r_0 – радиус ведущего центра электрона;
 a – радиус вращения электрона в поле B_0 .

Из приведенного закона следует: при уменьшении a уменьшается и r_0 . Это обуславливает возможность энергетической селекции электронов при изменении r_0 в радиально неоднородном поле. Если r_0 выбрать большим, чем r_0^{max} , соответствующий максимуму электрического поля, то тормозящиеся электроны будут перемещаться в более сильное поле, ускоряющиеся – в более слабое.

3. Бегущие в z -направлении волны: $L(z \mp V_\Phi t)$, тогда имеет место связь производных от L по t и z :

$$\frac{\partial L}{\partial t} \pm V_\Phi \frac{\partial L}{\partial z} = 0 \quad (\text{верхний знак – попутная волна, нижний – встречная}),$$

$$\text{отсюда } \varepsilon \mp V_\Phi P_z = \text{const}, \quad -\frac{d\varepsilon}{dt} \pm V_\Phi \frac{dP_z}{dt} = 0, \quad mc^2 - e\Phi \mp V_\Phi (m\dot{z} - eA_z) = \text{const}.$$

Если $\Phi = 0, A_z = 0$ (ТЕ-волны, нет электростатических полей), то

$$m(1 \mp \beta_\Phi \beta_Z) = \text{const}, \quad \beta_\Phi = \frac{V_\Phi}{c}, \quad \beta_Z = \frac{\dot{z}}{c}.$$

Выводы

1. В попутной волне:

а) при $\beta_\Phi < 1/\beta_{Z(0)}$ у тормозящегося электрона ($m \downarrow$) уменьшается и β_Z ;

б) при $\beta_{\Phi \text{кр}} = 1/\beta_{Z(0)}$ $\beta_Z = \text{const}$;

в) при $\beta_\Phi > 1/\beta_{Z(0)}$ $\beta_Z \uparrow$.

2. Во встречной волне: $m(1 + \beta_\Phi \beta_Z) = \text{const}$ и при уменьшении m увеличивается β_Z .

Необходимо отметить и обратную связь: без интуиции анализ сам по себе не может дать результата; при отсутствии интуиции анализ часто приводит к ошибочным и даже к курьезным результатам.

Пример

Статьи В.Л. Рвачева с соавторами по созданию «неархимедовых исчислений».

Типичный пример отсутствия физической интуиции: формула преобразования (перерасчета) скорости из одной инерциальной системы в другую в СТО называется, вообще говоря, некорректно: «формула сложения скоростей». В.Л. Рвачев и соавторы приняли это название буквально и понимали эту формулу как сложение скоростей в одной и той же системе координат. Затем был применен вполне строгий аналитический аппарат, но получен вполне абсурдный результат.

Библиотека БГУИР

15. ПОСТУЛАТЫ

Отличительным признаком любой фундаментальной теории является присутствие в ней системы постулатов. Действительно, если в данной теории постулатов нет, значит она – следствие какой-то более общей теории, где эти постулаты присутствуют. Истинность фундаментальной теории в смысле правильности отражения ею реального мира определяется тем, что не существует опытов и явлений, опровергающих ее. А это, в свою очередь, является подтверждением правильности принятой системы постулатов.

Гейзенберг в свое время выдвигал идею создания физической теории, которая опиралась бы на систему только опытных данных. И, как известно, Эйнштейн убедил его в абсурдности этой идеи. (Феноменологическая теория – теория, не содержащая моделей).

Притча о толковании толковых словарей: при объяснении значений слов так или иначе появляется необходимость обращаться к постулируемым «истинам, не требующим доказательств».

Наиболее ясно роль постулатов проявляется в электромагнитной теории Максвелла. Обратимся к ней. Главным постулатом теории Максвелла является закон сохранения заряда: алгебраическая сумма электрических зарядов (положительных и отрицательных) в мировом пространстве постоянна. Следовательно, заряды не возникают и не исчезают (т.е. могут возникать или исчезать одновременно равные количества положительных и отрицательных зарядов, например, при ионизации, рекомбинации, аннигиляции и т.д.). Причиной изменения величины заряда в объеме $V(S)$ является перемещение зарядов через граничную поверхность S или электрический ток через S :

$$\frac{dq}{dt} = -I.$$

Запишем q и I через удельные величины ρ и $\vec{\delta}$:

$$q = \int_V \rho dV, \quad I = \oint_S \vec{\delta} \vec{n} dS;$$

тогда $\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = - \oint_S \vec{\delta} \vec{n} dS$.

Полагая, что $V(S) = const$, и применяя в правой части теорему Остроградского–Гаусса, имеем

$$\int_V \left(\operatorname{div} \vec{\delta} + \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) dV = 0.$$

Поскольку V произволен, последнее равенство возможно всегда при выполнении условия

$$\operatorname{div} \vec{\delta} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

Последнее является уравнением непрерывности и выражает закон сохранения заряда.

Теперь рассмотрим с точки зрения этого постулата уравнение Ампера, установленное из опытных данных для стационарного тока:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\delta}.$$

Применяя к обеим частям уравнения операцию div и учитывая, что $\operatorname{div} \operatorname{rot} \vec{H} = 0$, получаем

$$\operatorname{div} \vec{\delta} = 0.$$

Для стационарных процессов, когда $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, этот результат не противоречит уравнению непрерывности. Однако из этого же результата очевидно, что уравнение Ампера для переменных во времени процессов неприменимо. Оно должно быть изменено так, чтобы уравнение непрерывности удовлетворялось. Какое же дополнение в правой части для этого нужно сделать? Максвелл дописал составляющую $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$, по размерности соответствующую плотности электрического тока $\vec{\delta}$, и назвал это дополнение плотностью тока смещения.

Теперь по Максвеллу

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\delta} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.$$

Проверим его на соответствие закону сохранения заряда. Опять применим операцию div к обеим его частям. Получим

$$\operatorname{div} \left(\vec{\delta} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = 0.$$

Если расчетная система координат неподвижна, то x , y , z не зависят от t и операции дифференцирования по x , y , z и t можно менять местами:

$$\operatorname{div} \vec{\delta} = -\frac{\partial}{\partial t} (\operatorname{div} \vec{D}),$$

но $\operatorname{div} \vec{D} = \rho$ и поэтому

$$\operatorname{div} \vec{\delta} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

Таким образом, введение закона сохранения заряда – постулата – приводит к появлению в уравнении для магнитного поля новой величины – плотности тока смещения $\vec{\delta}_{см} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. Появление же этой величины открывает существование нового явления – электромагнитных волн. Теперь в любой среде, в том числе непроводящей, где $\vec{\delta} = 0$, устанавливается непосредственная взаимосвязь электрических и магнитных векторов: $\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$, $\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$, т.е. переменное электрическое поле порождает в пространстве магнитное поле, а переменное магнитное поле – электрическое. Иначе говоря, образуется электромагнитное поле.

16. ИЗОМОРФНОСТЬ

Начнем с определения понятия изоморфности.

В физике и математике имеются более частные понятия изоморфизма. В химии под изоморфизмом понимается то свойство химически и геометрически близких атомов, ионов и их сочетаний, что они могут замещать друг друга в кристаллической решетке. В математике изоморфизм – более сложное понятие. Пусть M – математическая модель, состоящая из объектов a, b, \dots и включающая операции O, P, \dots , результаты которых $O(a, b, \dots), P(a, b, \dots)$ являются элементами модели M и M' – вторая модель с операциями $O'(a', b', \dots), P'(a', b', \dots)$. Если существует взаимно однозначное отображение $a \rightarrow a'$ множества элементов модели M в множество элементов модели M' относительно указанных операций и если при этом $(O(a, b, \dots) \rightarrow O'(a', b', \dots), P(a, b, \dots) \rightarrow P'(a', b', \dots))$, то модели M' и M называются *изоморфными*.

Мы несколько расширим эти понятия и под изоморфностью будем понимать то замечательное свойство явлений реального мира, что одинаковые по свойствам и характеру (но не по природе!) группы явлений имеют одинаковое формально-математическое описание. Это весьма важное свойство явлений и процессов открывает как широчайшие возможности аналогового моделирования с использованием доступных для всестороннего исследования явлений для описания других, не поддающихся непосредственному исследованию (и, возможно, опасных) явлений, так и возможность распространения готовых решений, выводов, сценариев развития, уже полученных в процессе исследования одних явлений, на другие.

Остановимся на основных группах изоморфных явлений, объединяющих весьма разнородные по природе явления и процессы: физические, химические, экономические, информационные и социальные. Распределим их по основным классам уравнений математической физики, которыми они описываются.

1. Уравнения эллиптического типа.

Стационарные поля и процессы

$$\nabla^2 U = F(x, y, z)$$

Это уравнение Пуассона. Оно описывает множество явлений и процессов: распределение потенциала статических полей (электрического, магнитного, гравитационного, механического, теплового и т.д.), распределение стационарных токов в электролите, при $F = 0$ – это уравнение непрерывности для жидкостей (в этом случае $\vec{V} = \text{grad}U$).

Тот факт, что электростатический потенциал подчиняется тому же уравнению, что и распределение стационарных токов в электролите, широко используется при разработке электронно-оптических систем – это

«электролитическая ванна». Распределение токов в такой модели можно измерить с высокой степенью точности при любой сложной форме «электродов», электростатические же поля без их искажения измерить никак нельзя. Кроме того, здесь очень удобно учитывать и «поле пространственного заряда пучка», вводя соответствующую систему источников тока в электролите.

2. Уравнения параболического типа

$$\nabla^2 U - \frac{1}{a} \frac{\partial U}{\partial t} = F(x, y, z, t)$$

Это уравнение теплопроводности (тогда U – температура, a – коэффициент температуропроводности). Оно же – уравнение диффузии (тогда $U = P$ – плотность, a – коэффициент диффузии).

Одно то, что эти совершенно различные по природе процессы описываются математически тождественно, показывает, что и суть этих явлений одинакова. Многие другие явления описываются тем же уравнением – например, «диффузия» электромагнитных лучей в области тени, существенно изменяющая характер дифракции электромагнитных волн. Многие еще неизвестные нам явления в нано- и микромире наверняка описываются тем же уравнением.

3. Уравнения гиперболического типа

$$\nabla^2 U - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = F(x, y, z, t)$$

Это волновое уравнение, a – скорость распространения волн в однородной безграничной среде. Волны могут быть любые: электромагнитные (правда, тогда это уравнение векторное), акустические, волны-частицы по Де Бройлю (тогда это уравнение Шредингера), а возможно, и волны экономических характеристик. Неисчислимо количество известных и пока неизвестных процессов и явлений подчиняются этому уравнению.

Здесь все три типа уравнений приведены, конечно, в простейшей форме. При учете диссипации, нелинейности, неоднородности и анизотропии пространства их форма усложняется, однако остается по-прежнему стандартной для тех же явлений. Какой же общий вывод можно из этого сделать? Неужели все многочисленные явления реального мира, которые мы знаем и достаточно подробно изучили, вмещаются всего в три указанные изоморфные «корзины»? Ну, может быть, отдельно «собраны» баллистические явления, т.е. явления, связанные с движением частиц и объектов. А все «полевые» процессы, включая информационные и экономиче-

ские, имеют «триединый лик» и не более? Возможно, в будущем откроются новые великие уравнения, описывающие новые поля и объекты в них.

С другой стороны, изоморфность больших групп явлений и процессов реального мира отражает общность механизма их протекания независимо от природы явлений и объектов, которые в них участвуют. Таким образом, установление изоморфности явлений представляет собой высшую ступень классификации явлений, объединение их по формально-математическому признаку. И в то же время это – отражение реально заданной Природой общности свойств явлений. «Природа не роскошествует» – по-видимому, это основной принцип мироздания.

Используя концепцию изоморфности, можно предложить следующую волновую гипотезу пространства–времени. Будем исходить из того, что физическое пространство–время \vec{r}, \vec{t} не тождественно с вводимым исследователем расчетным пространством–временем \vec{R}, T . В последнем время T – скалярная величина, связанная с какой-либо измерительной шкалой – периодом колебаний маятника, атомными частотами перехода и т.д. В физическом же пространстве время \vec{t} – векторная величина. Соответственно в декартовой системе координат $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ векторные величины $\vec{R}, \vec{r}, \vec{t}$ могут быть представлены в виде

$$\begin{aligned}\vec{R} &= \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z, \\ \vec{t} &= \vec{i}t_1(\vec{R}, T) + \vec{j}t_2(\vec{R}, T) + \vec{k}t_3(\vec{R}, T), \\ \vec{r} &= \vec{i}r_1(\vec{R}, T) + \vec{j}r_2(\vec{R}, T) + \vec{k}r_3(\vec{R}, T).\end{aligned}$$

В соответствии с изложенным выше возможны три типа связи \vec{r}, \vec{t} , приводящие к трем типам уравнений для «сплошных сред» ($\vec{U} \cong \vec{t}, \vec{r}$):

а) стационарная:

$$\nabla^2 \vec{U} = \vec{F}(T, \vec{R});$$

б) релаксационная:

$$\nabla^2 \vec{U} - \frac{1}{a} \frac{\partial \vec{U}}{\partial T} = \vec{F}(T, \vec{R});$$

в) волновая:

$$\nabla^2 \vec{U} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial T^2} = \vec{F}(T, \vec{R}).$$

Очевидно, что обобщением трех уравнений будет волновое с «диссипационным» членом $\frac{1}{a} \frac{\partial \vec{U}}{\partial T}$:

$$\nabla^2 \vec{U} - \frac{1}{a} \frac{\partial \vec{U}}{\partial T} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial T^2} = \vec{F}(T, \vec{R}).$$

Таким образом, в общем случае наиболее вероятен волновой тип связи \vec{r}, \vec{t} . Поэтому отдельные уравнения связи \vec{r}, \vec{t} следует записать в виде

$$\begin{cases} \text{rot}\vec{r} = \frac{\partial(\vec{k}_1\vec{t})}{\partial T} - \vec{r}_0, \\ \text{rot}\vec{t} = -\frac{\partial(\vec{k}_2\vec{r})}{\partial T} + \vec{V}_0. \end{cases} \quad (*)$$

Здесь тензоры $\vec{k}_1(T, \vec{R}), \vec{k}_2(T, \vec{R})$ определяются свойствами и энергетикой физических процессов в данной области расчетного пространства – времени, \vec{r}_0, \vec{V}_0 – необходимые для нормировки составляющие, имеющие смысл источников вихрей \vec{r}, \vec{t} .

Изменение энергии времени тогда определяется как

$$\frac{\partial \varepsilon_t}{\partial T} = \vec{t} \frac{\partial(\vec{k}_1\vec{t})}{\partial T},$$

изменение энергии пространства –

$$\frac{\partial \varepsilon_r}{\partial T} = \vec{r} \frac{\partial(\vec{k}_2\vec{r})}{\partial T},$$

а сценарий сохранения энергии пространства–времени можно записать так:

$$\vec{t} \frac{\partial(\vec{k}_1\vec{t})}{\partial T} + \vec{r} \frac{\partial(\vec{k}_2\vec{r})}{\partial T} = 0.$$

Введенное гипотетическое пространство–время имеет источники ρ_t, ρ_r :

$$\text{div}(\vec{k}_1\vec{t}) = \rho_t, \quad \text{div}(\vec{k}_2\vec{r}) = \rho_r.$$

Нетрудно убедиться, что в простейшем случае, когда $\vec{k}_1 = k_1 \neq f(\vec{R}, T), \vec{k}_2 = k_2 \neq f(\vec{R}, T)$ в области \vec{R}, T , отсутствуют источники ($\rho_t = \rho_r = \vec{r}_0 = \vec{V}_0 = 0$), исключая из приведенной системы (*) \vec{t} или \vec{r} , можно получить

$$\nabla^2 \vec{r} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial T^2} = 0, \quad \nabla^2 \vec{t} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{t}}{\partial T^2} = 0,$$

где $c^2 = 1/k_1 k_2$.

Таким образом, введенное гипотетическое пространство – время действительно имеет волновую составляющую.

Очевидно, что подробное изложение всех аспектов волновой теории пространства – времени в тексте лекций курса невозможно, да и не нужно. Здесь продемонстрированы лишь большие возможности концепции изоморфности, дающей мощный инструмент для построения далеко идущих обобщений.

Частным, но практически важным примером изоморфизма электрических и магнитных явлений является «перестановочная двойственность уравнений Максвелла». Это свойство уравнений Максвелла состоит в следующем. Пусть имеются две задачи. В первой из них в качестве источника поля задана плотность разомкнутого электрического тока $\vec{\delta}_P$, $\text{div} \vec{\delta}_P = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$ (электрический диполь). Во второй – задана плотность замкнутого электрического тока $\vec{\delta}_3$, $\text{div} \vec{\delta}_3 = 0$. Замкнутый ток по своим свойствам идентичен разомкнутому магнитному току $\vec{\delta}_P^M$ (магнитному диполю), $\text{div} \vec{\delta}_P^M = -\frac{\partial \rho_M}{\partial t}$. Поэтому вторую задачу можно сформулировать как задачу возбуждения поля фиктивными магнитными токами и зарядами $\vec{\delta}_P^M$ и ρ_M .

Запишем уравнения Максвелла для первой и второй задачи:

$$\begin{array}{ll}
 \text{I} & \begin{array}{l}
 \text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{\delta}_P, \\
 \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\
 \text{div} \vec{D} = \rho, \\
 \text{div} \vec{B} = 0,
 \end{array} & \text{II} & \begin{array}{l}
 \text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \\
 \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \vec{\delta}_P^M, \\
 \text{div} \vec{D} = 0, \\
 \text{div} \vec{B} = \rho^M.
 \end{array}
 \end{array}$$

Нетрудно видеть, что при замене обозначений $\vec{H} \leftrightarrow \vec{E}$, $\vec{\delta}_P \rightarrow -\vec{\delta}_P^M$, $\vec{D} \leftrightarrow -\vec{B}$, $\rho \rightarrow -\rho^M$ система I переходит в систему II. Таким образом, при соответствии еще и граничных условий найденное решение системы I может быть при указанных переобозначениях переписано как решение системы II. Иначе говоря, решение «двойственной» задачи II искать не нужно благодаря перестановочной двойственности уравнений Максвелла. Так что если решена задача для разомкнутых электрических токов, то задачу для замкнутых электрических токов решать не нужно – достаточно воспользоваться указанной системой переобозначений. Такой случай изоморфности отражает равноправность электрических и магнитных явлений, их симметрию во взаимосвязи.

17. СВОБОДА, НАУКА, ЭСТЕТИКА

Кредо ученых-классиков XIX века, выдвинутое Лапласом, может быть сформулировано так: «Если представить себе сознание, достаточно мощное, чтобы точно знать положения и скорости всех объектов во Вселенной в настоящий момент времени, а также все силы, то это сознание сможет вычислить абсолютно все о прошлом и будущем, исходя из закона причины и следствия».

Это крайне ясное выражение абсолютного детерминизма. Между тем классики, отвергая его в повседневной жизни (т.е. отвергая предопределенность своего бытия), придерживались его в науке: именно он породил утверждение, что любое наблюдаемое явление имеет (в принципе) научное объяснение. Иначе ведь не стоит развивать науку. Этот конфликт существует и в новейшей науке, т.е. двойственность отношения к причинно-следственному закону осталась.

Действительно, с одной стороны, мы убеждены (точнее, верим), что можем свободно принимать решения, т.е. вольны выбирать свой путь по желанию. Но ведь желания наши не доходят до абсурда, мы руководствуемся исходными данными и соображениями о том, к чему с учетом этих данных могут привести наши решения. Продолжая эти рассуждения, мы приходим к детерминизму Лапласа, т.е. к выводу о невозможности не предопределенной заранее воли. Но, наблюдая явления и исторические, и повседневные, мы не можем согласиться с таким выводом.

Разрешение этого конфликта, возможно, наметилось в последнее время в связи с результатами исследования нелинейных динамических систем.

До исследования этих систем всегда казалось, что в любых явлениях, как в природе, так и в хорошо поставленных экспериментах, выполняется принцип: почти одинаковые причины приводят к почти одинаковым следствиям. Это своеобразная аксиома, ведь иначе у нас не было бы исправно работающих машин, аппаратов, сложных систем неисчислимых видов и еще более неисчислимых их экземпляров. Исключения – некорректные задачи, но ведь это «патологические случаи». И исключения, как известно, только подтверждают правила.

Указанная аксиома, кстати говоря, и делает законным применение математики для описания любых явлений, т.е. математическую формализацию явлений. Математика как раз и обеспечивает точность причинно-следственных связей.

В этих утверждениях как будто все верно, но (!) есть одна не принимаемая (до последнего времени) деталь. Да, все верно, но для конечного, ограниченного (для каждого явления – характерного) интервала времени. Вот эта деталь постоянно исчезала из внимания. Действительно, для некорректных задач понятно: исчезающее малое изменение исходных условий (причины) приводит к весьма большому изменению результата (следствия) за короткий период. Но ведь и в «нормальном» явлении очень малое

изменение в начальных условиях приведет к большому изменению результата за очень большой интервал наблюдения (достаточно вспомнить поведение интегральных кривых для нелинейного уравнения $y' = f(x,y)$ на плоскости x,y !).

Исследование динамических систем показало, что это – типичное явление.

Рассмотрим в качестве примера нелинейной динамической системы автогенератор с нелинейным усилителем в цепи обратной связи и нелинейным сопротивлением в контуре с внешним гармоническим воздействием (рис. 17.1).

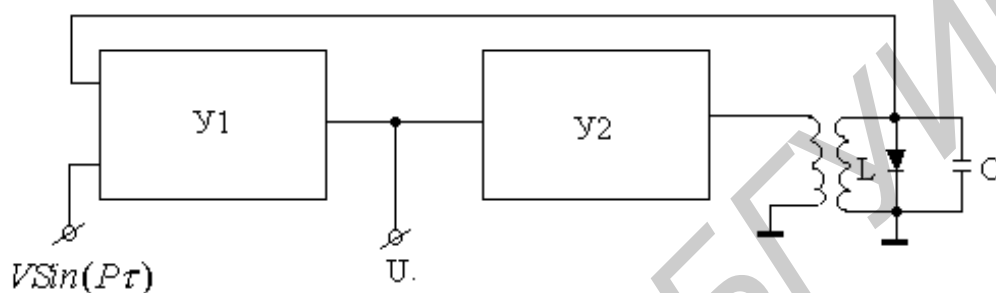


Рис. 17.1

Здесь $Y1$ – линейный согласующий усилитель; $Y2$ – нелинейный усилитель с экспоненциальной характеристикой; τ – приведенное время; $P = \Omega / \omega_0$; $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$; Ω – угловая частота сигнала воздействия; V – его относительная амплитуда; U – сигнал на выходе $Y2$.

Для получения фазового портрета сигнал U подавался на вертикальные пластины осциллографа, на горизонтальные – тот же сигнал U , прошедший через дифференцирующую цепочку $RC(U')$.

На рис. 17.2 приведена эволюция фазового портрета генератора, изображенного на рис. 17.1, при фиксированном значении $P = 0,18$ и изменении параметра V , равного $a - 0,214$; $b - 0,216$; $c - 0,22$; $d - 0,222$; $e - 0,224$; $f - 0,228$. Как видно из рис. 17.2, последовательность бифуркаций удвоения периода приводит к хаосу, в хаосе имеет место слияние лент аттрактора.

Таким образом, примитивная модель генератора с нелинейной обратной связью – чисто детерминированная система – входит в режим чистого хаоса. Это режим динамического хаоса (или детерминированного хаоса), который открыт не так уж давно (в 70-х годах XX века). Дальнейшее исследование динамических систем показало, что для природных процессов это типичное явление.

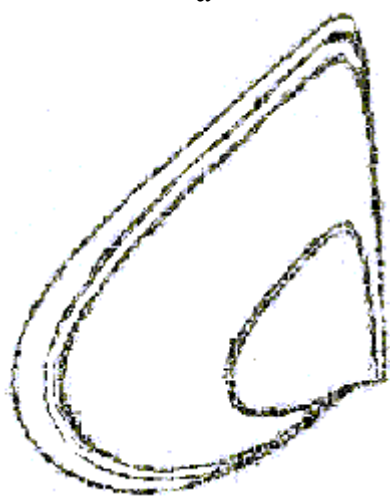
Таким образом, детерминизм Лапласа не может быть абсолютным, и случайность и свобода вновь появляются на научной сцене.



а



б



в



г



д



е

Рис. 17.2

Приведем еще одну из картин с выставки, организованной группой бременских математиков и физиков в 1984 г. Это компьютерные изображения фрактальных объектов, относящихся к множествам Жюлиа и Мандельброта (рис. 17.3).



Рис. 17.3

Что характерно для этих картин? Хаотические фрагменты, отчетливо видимые в мелких структурах, не захватывают всю картину, большую часть которой занимают регулярно упорядоченные области. Причем порядок и хаос гармонически сбалансированы друг с другом. Такая гармоническая смесь порядка и беспорядка вызывает ощущение прекрасного, точно так же, как и естественная красота творений Природы: закаты, зимние деревья, горные вершины, морозные узоры на оконном стекле в домах с печным отоплением и т.д. Они ведь тоже отпечатки природных динамических процессов, и чередование порядка и беспорядка характерно для них.

Технические же произведения из-за крайнего упорядочения и геометрического «совершенства» их форм выглядят примитивно и эстетических восторгов не вызывают. Недаром в профессионально сделанных рекламных функционально совершенные по форме приборы помещают на фоне созданий природы (пример: реклама векторного анализатора СВЧ-цепей на фоне альпийских вершин).

Но ведь регулярность искусственных систем и является необходимым условием для математической формализации исследуемых процессов. Казалось бы, мощные компьютеры снимут это ограничение и установят желательный порядок во всем. Но они-то как раз и позволили промоделировать переход от упорядоченности к хаосу в детерминированных системах (к тому же и сами компьютеры – сугубо детерминированные системы). Произведенные ими картины впервые показали связь между рациональным научным познанием и эмоциональным эстетическим восприятием результатов этого познания, отраженных в компьютерном изображении фрактальных объектов.

18. ПРЕДЕЛЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИКИ КАК СРЕДСТВА ОТРАЖЕНИЯ РЕАЛЬНОСТИ

Итак, материалы предыдущего раздела делают правомерной постановку вопроса о пределах применимости формально-математического описания явлений реального мира. Поясним подробнее содержание этого вопроса, т.е. определим его составляющие.

1. Идет ли речь о математике вообще или о современной математике?

2. Идет ли речь о всех явлениях реального мира или же об отдельных, например, явлениях микромира, где образные представления проблематичны?

3. Существует ли тождественность вопроса о пределах применения математики как инструмента познания мира и вопроса о пределах самого познания? Или возможно познание мира без использования формально-математического аппарата? И вообще, является ли неограниченным процесс познания реального мира?

Первая составляющая вопроса. Если говорить о современной математике, то здесь есть полная ясность: она не адекватна современным задачам научных исследований уже около ста лет, когда новые представления в области СТО, ядерной, квантовой физики, генетики и синергетики поставили новые задачи формализации, которым не вполне соответствует классическая математика. Имеется в виду тот главный новый принцип, в соответствии с которым все объекты имеют дискретную структуру, и, поскольку пространство – время должно отражать свойства существующих в нем объектов, оно также должно быть дискретным в пропорции $\Delta t c = \Delta R$. Бесконечно больших значений не может иметь ни одна физическая величина. Точно так же и Δt и ΔR не могут быть бесконечно малыми. Это объясняется тем, что энергия кванта $W = \hbar/T$ (\hbar – постоянная Планка, T – период колебания). И поскольку W , как мы установили, не может быть бесконечной, то и $T \leq t_0$, t_0 – фундаментальный интервал времени, менее его Δt не может быть. Следовательно, существует и фундаментальная длина $l_0 = ct_0$. Мы и вся природа нашего мира существуем только в дискретных точках, разделенных интервалами t_0 и l_0 . Очевидно, что в любом объекте их конечное и целое число. Поэтому в естественных единицах любой объект и его состояние должно описываться рациональными числами, иррациональные лишены физического смысла: мы вне сетки рациональных чисел, измеряющих наше состояние, не существуем. Иррациональные числа – принадлежность других миров, где они составляют рациональный масштаб.

Таким образом, классическая математика, оперирующая понятиями бесконечно малых и бесконечно больших, континуальной числовой осью, не отвечает основным принципам современной науки. Это несоответствие проявляется в особенностях решений в точках изломов (острие, ребро,

граница раздела и т.д.), бесконечных рядах и множестве других специальных осложнений, которые совершенно не отвечают физической реальности, где этих особенностей вообще не существует, а иррациональные числа лишены физического смысла. К тому же современный исследовательский и вычислительный инструмент – компьютер оперирует только с рациональными числами.

Вторая составляющая вопроса. Да, в определенных областях, в частности в микромире, математические решения уже не могут быть однозначно интерпретированы в виде образных представлений, и, вообще говоря, расшифровка этих решений может быть неоднозначной. Являются ли данные решения характеристиками разных микрочастиц или это проявления свойств одной и той же частицы в разных условиях наблюдения – интерпретация может быть разной в зависимости от исходных гипотез, заложенных в математическую модель. С другой стороны, математическая модель никогда не сможет учесть бесконечное множество факторов и связей, существующих в реальном мире. И может случиться так, что учет одного или нескольких новых факторов и связей существенно изменит результат. Это равным образом относится и к интерпретации экспериментальных результатов. Причем математика часто может существенно улучшить качество этой интерпретации.

И все же в микромире, где мы лишены непосредственного восприятия объектов, ситуация с созданием образных представлений весьма сложна и противоречива. Сравнение: мы пытаемся объяснить слепому, чем красный цвет отличается от голубого. У нас есть целый арсенал средств формального описания этих отличий: различие длин волн, их величины, различие при преломлении, при воздействии на разные среды, резонансы и т.д. И все же вряд ли слепой действительно сможет на таком основании составить образное представление об этом различии. И можно ли в этом случае говорить о полном познании слепым указанного явления – различия цветов?

Добавим еще и то, что в микромире, где оперирует квантовая механика, многие ее положения вызывают вопросы: почему? Но ответы на эти вопросы отсутствуют и не могут быть даны в рамках существующей теории. А без этого говорить о познании явлений не очень правильно.

Третья составляющая вопроса. Очевидно, что тождественности предела применения математики как инструмента познания мира и предела познания нет. Математика – лишь один из инструментов познания и средств отражения реального мира. Существует множество разделов познания, где математика просто не нужна, – это эстетическое познание и восприятие мира, мир звуков, музыка, мир видений, мир духовного совершенства, психология и многое другое: филология, история, география, геология, медицина и т.д.

Что касается пределов познания вообще, то они, конечно, существуют, но не связаны с возможностями математики или каких-либо технических средств, многократно повышающих мощность процесса познания

(вычислительный эксперимент, например). Просто общий принцип Природы исключает бесконечность. И, значит, наши способности и возможности в процессе познания ограничены. Ни математические, ни технические средства не могут сколь угодно далеко продвинуть процесс познания. Здесь присутствует нечто похожее на релятивистское уравнение движения в СТО: одномерное движение e в поле $\vec{E} = \vec{z}_0 E_Z$:

$$m_0 \frac{dV}{dt} = f_Z \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{3/2}, \quad f_Z = -eE_Z,$$

$$V \rightarrow c, \quad \frac{dV}{dt} = \frac{f_Z}{m_0} \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{3/2} \rightarrow 0.$$

Никакие громадные силы не могут ускорить частицу до скорости света в пустоте c , поскольку при $V \rightarrow c$ ускорение тоже стремится к нулю, и, кроме того, сила торможения излучением сравняется с любой ускоряющей силой. То же и с прогрессом познания: на определенном уровне силы дестабилизации сравниваются с силами ускорения. Может возникнуть и другой сценарий: с увеличением порядка пространства связей, учитываемых при исследованиях, появится странный аттрактор, который приведет к динамическому хаосу в детерминированной системе познания. Иначе говоря, процесс познания является типичной динамической системой с нелинейными связями. Но мы уже выяснили, что в таких сложных динамических системах при определенных изменениях параметров с течением времени упорядоченный процесс сменяется динамическим хаосом. Такой сценарий достаточно правдоподобен.

19. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

19.1. Сфера применения вычислительного эксперимента

Вычислительный эксперимент – метод изучения устройств или физических процессов с помощью математического моделирования. Он предполагает, что вслед за построением математической модели проводится ее численное исследование, позволяющее «проиграть» поведение исследуемого объекта в различных условиях или в различных модификациях [1].

Численное исследование модели дает возможность определять разнообразные характеристики процессов, оптимизировать конструкции или режимы функционирования проектируемых устройств. Более того, случается, что в ходе вычислительного эксперимента исследователь неожиданно открывает новые процессы и свойства, о которых ему ранее ничего не было известно.

Вычислительный эксперимент занимает промежуточное положение между натурным экспериментом и аналитическим исследованием.

Натурный (физический) эксперимент при надлежащей постановке может, вообще говоря, дать исчерпывающие и надежные результаты. И все же во многих случаях предпочтение отдается вычислительному эксперименту.

Дело в том, что в вычислительном эксперименте в роли опытной установки выступает не конкретное физическое устройство, а программа. Ее построение и последующие модификации, как правило, требуют существенно меньших затрат, чем подобные манипуляции над реальным объектом.

Кроме того, в опытной установке нередко просто невозможно бывает воссоздать некоторые критические режимы или экстремальные условия. Поэтому математическое моделирование может оказаться практически единственно возможным способом исследования. При аналитическом подходе, так же как и в вычислительном эксперименте, строится математическая модель. Но исследуется эта модель исключительно посредством аналитических выкладок, без привлечения каких-либо численных методов. Если аналитических выкладок оказывается достаточно, то данный подход приводит к строгому, точному решению. Однако на практике, как это ни парадоксально, аналитическому подходу обычно отводится роль инструмента для (сравнительно быстрого) получения грубых оценок. Объясняется это тем, что аналитическими выкладками удается ограничиться только для несложных, сильно упрощенных моделей реальных процессов. Получаемое тут строгое аналитическое решение на самом деле в силу исходного огрубления модели оказывается весьма далеким от совершенства. Напротив, численные методы, применяемые в вычислительном эксперименте, дают возможность изучать более сложные модели, достаточно полно и точно отражающие исследуемые процессы. Отмеченные достоинства вычислительного эксперимента вывели его в число

основных методов исследования таких крупных физических и инженерно-технических проблем, как задачи ядерной энергетики, освоения космического пространства и др. Программные комплексы, обслуживающие вычислительный эксперимент, объемны и сложны, в их создание вовлечен многочисленный отряд программистов. Поэтому особую актуальность приобретает изучение возникающих здесь конфигурационных построений, которые, как будет видно из дальнейшего изложения, постоянно находятся в центре внимания участников такого рода разработок.

19. 2. Цикл вычислительного эксперимента

В цикле вычислительного эксперимента можно выделить следующие этапы (рис. 19.1) [2].



Рис. 19.1. Этапы вычислительного эксперимента

Этап 1. Построение математической модели (составление уравнений, описывающих исследуемое явление). Во-первых, для исследуемого объекта строится модель. Сначала физическая, фиксирующая разделение всех действующих в рассматриваемом явлении факторов на главные, которые учитываются, и второстепенные, которые на данном этапе исследования отбрасываются. Одновременно формулируются допущения, или рамки применимости модели, в которых будут справедливы полученные на ее основе результаты. Эта модель записывается в математических терминах, как правило, в виде дифференциальных или интегродифференциальных уравнений.

Работа по конструированию математической модели чаще всего проводится объединенными усилиями физиков (химиков, биологов, медиков, экономистов), т.е. специалистов, хорошо знающих данную предметную область, и математиков, представляющих себе уровень развития соответствующего раздела прикладной математики и способных оценить возможность решения возникающей математической задачи. Важно подчеркнуть, что вычислительный эксперимент не только не отвергает традиционных классических методов анализа, но и, напротив, предполагает их самое активное использование. Кроме того, на долю математиков выпадает и предварительное исследование математической модели: корректно ли поставлена задача, имеет ли она решение, единственно ли оно и т.д. К сожалению, для актуальных сложных задач, которые в изобилии представляют современная наука и техника, подобное исследование удастся выполнить лишь в исключительных случаях. Гораздо чаще приходится довольствоваться рассуждениями типа: «Раз в природе ситуация, которую мы хотим получить в качестве решения, наблюдается, то следует ожидать, что и математическая задача будет однозначно разрешима». При этом вынужденно закрывают глаза на такую «деталь»: ни одна математическая модель, сколь бы совершенной она нам ни казалась, не адекватна реальности. Природа гораздо богаче и разнообразнее в своих проявлениях, нежели любые модели, являющиеся лишь ее бледными копиями. Однако отношение к задачам в современной прикладной математике весьма отличается от положения в математике классической. К примеру, знаменитые проблемы Д. Гильберта могли ждать своего решения годами и десятилетиями. Задачи же ядерной физики, упоминавшиеся выше, необходимо было решить в короткие сроки, предусмотренные соответствующими планами. Поэтому к решению задач, имеющих прикладной характер, зачастую приступают, не имея детального исследования ее математических свойств или изучив их лишь на частных упрощенных вариантах исходной постановки задачи.

Этап 2. Выбор численных методов расчета (построение дискретной модели, аппроксимирующей исходную математическую задачу, построение разностной схемы, разработка вычислительного алгоритма и т.д.). Второй этап вычислительного эксперимента связан с разработкой метода расчета сформулированной математической задачи, или, как говорят, вычислительного алгоритма. Фактически он представляет собой совокупность цепочек алгебраических формул, по которым ведутся вычисления, и логических условий, позволяющих установить нужную последовательность применения этих формул. Как правило, для одной и той же математической задачи можно предложить великое множество вычислительных алгоритмов. Даже человек, знакомый лишь поверхностно с численными методами, может без большого труда сочинить свой собственный вычислительный процесс. И это обстоятельство не может не поражать, ибо довольно очевидно, что среди большого разнообразия алгоритмов не все одинаковы по своим качествам. Есть алгоритмы хорошие и

плохие, и нужно уметь отличать одни от других, причем делать это, не тратя времени и труда на программирование и расчеты, а заранее, априори, по, так сказать, их внешнему виду. А для этого, прежде всего, нужно сформулировать, «что такое хорошо и что такое плохо» в данном случае, т.е. определить критерии для оценки качества вычислительных алгоритмов. Эти вопросы и составляют предмет теории численных методов – раздела вычислительной математики, который стал особенно интенсивно развиваться с появлением ЭВМ.

Общая цель этой теории – построение эффективных вычислительных методов, которые позволяют получить решение поставленной задачи с заданной точностью за минимальное количество действий (арифметических, логических), т.е. с минимальными затратами машинного времени. Это весьма существенно. Вычислительный эксперимент имеет «многовариантный» характер. Действительно, решение любой прикладной задачи зависит от многочисленных входных параметров. Например, если рассчитывается какая-нибудь будущая промышленная установка, то имеется множество различных конструктивных, технологических и других параметров, среди которых нужно определить их оптимальный набор, обеспечивающий режим работы этой установки,

Получить решение соответствующей математической задачи в виде формулы, содержащей явную зависимость от параметров, для реальных задач, как уже говорилось выше, не удастся. При использовании методов вычислительного эксперимента каждый конкретный расчет проводится при фиксированных значениях параметров. Проектируя оптимальную установку, т.е. определяя в «пространстве параметров» точку, соответствующую оптимальному режиму, приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значениями некоторых параметров. Поэтому необходимо, чтобы на один вариант задачи затрачивалось немного машинного времени. Вот почему, проводя вычислительный эксперимент, так важно опираться на эффективные численные методы.

В теории численных методов многое сделано, особенно в последние годы, но еще больше предстоит сделать. Пока здесь теория в долгу перед практикой, которая зачастую за неимением достаточно развитой теории вынуждена обращаться к эмпирике, здравому смыслу, интуиции и т.д. На каждом этапе вычислительного эксперимента ученым приходится широко использовать различные разделы современной математики. Однако есть и обратное влияние. Результаты многих исследований, в которых принципиальную роль сыграло широкое использование ЭВМ, привели к возникновению новых идей, понятий, методов, к появлению новых математических теорий.

Этап 3. Создание программы, реализующей вычислительный алгоритм. Ранее при небольших вычислительных мощностях это выглядело так. Формулы алгоритма разбивались на отдельные операции: сложить, разделить, сравнить два числа по величине и т.д., и каждая операция программировалась отдельно. Это была однообразная, утомительная работа, занимавшая у программистов много рабочего времени и требующая большой ак-

куратности и внимания. Каждую ошибку или опisku приходилось потом подолгу «вылавливать» в тестовых расчетах. Поэтому развитие программирования шло по линии упрощения процесса общения человека с машиной, приближения форм этого общения к естественным, привычным для человека. Так появились машинные языки, с помощью которых вести диалог с ЭВМ стало существенно легче. Именно языки, а не один язык, ибо каждый из них ориентирован на свой тип машин, на свой класс математических задач. Программное обеспечение (или математическое обеспечение) современной электронной вычислительной машины представляет собой сложное хозяйство, включающее языки, трансляторы, операционные системы, библиотеки стандартных программ и пр. Это обеспечение составляет неотъемлемую часть ЭВМ, часто по стоимости превышающую стоимость собственно оборудования. Современное программирование – это уже не ремесло, где все определяется искусством и опытом исполнителя, а самостоятельная наука со своими фундаментальными принципами, подходами, методами.

Этап 4. Проведение расчетов и обработка полученной информации. Это тот самый этап вычислительного эксперимента, когда наиболее отчетливо проявляется его сходство с экспериментом натурным. Только если в лаборатории экспериментатор с помощью специально построенной установки задает вопросы природе, то специалисты по вычислительному эксперименту с помощью ЭВМ ставят эти вопросы математической модели. Ответ в обоих случаях получается в виде некоторой цифровой информации, которую предстоит еще расшифровать. Причем в современных физических экспериментах со сложными объектами или процессами, протекающими в экспериментальных условиях, каждое измерение температуры, плотности, скорости и т.д. дается с большим трудом. Зачастую нужную информацию приходится извлекать из косвенных данных. Точность полученных результатов, как правило, невелика.

Иное дело вычислительный эксперимент. ЭВМ в процессе расчета может выдавать любую информацию, представляющую интерес для исследователя. Конечно, точность этой информации определяется достоверностью самой модели. Именно по этой причине в серьезных прикладных исследованиях никогда не начинают вести полномасштабные, или, как говорят, производственные, расчеты сразу же после ее написания. Им всегда предшествует период проведения тестовых расчетов.

Тестовые расчеты необходимы не только для того, чтобы «отладить» программу, т.е. отыскать и исправить все ошибки и опечатки, допущенные как при создании алгоритма, так и при его программной реализации. В этих предварительных расчетах тестируется также сама математическая модель, выясняется, насколько хорошо она описывает изучаемый класс явлений, в какой степени она адекватна реальности. Для этого проводится «обсчет» некоторых контрольных экспериментов, по которым имеются достаточно надежные измерения. Как правило, эти эксперименты бывают выполнены в области, так сказать, умеренных значений параметров, где отсутствуют те трудности, которые в полной мере проявляют-

ся при полномасштабных исследованиях. Сопоставление этих данных с результатами расчетов позволяет уточнить математическую модель, обрести уверенность в правильности предсказаний, которые будут получены с ее помощью. Только после проведения этой длительной кропотливой работы в вычислительном эксперименте наступает фаза прогноза: с помощью математического моделирования предсказывается поведение исследуемого объекта в условиях, где эксперименты пока не проводились или где они вообще невозможны. Хотелось бы отметить, что проведение расчетов – это не тривиальный процесс типа «сдал программу на счет – получил результаты». Это исследовательская работа, поиск, имеющий свою стратегию. Фактически в процессе расчетов осуществляется диалог человек – машина.

Этап 5. Анализ результатов расчетов, сравнение (если это возможно) с натурным экспериментом, обработка результатов расчетов, их всесторонний анализ и, наконец, выводы. Эти выводы бывают в основном двух типов: или становится ясна необходимость уточнения модели, или результаты, пройдя проверку на разумность и надежность, передаются заказчику, где «идут в дело». Однако чаще всего эти две стороны переплетаются: выясняются какие-либо необычные формы протекания изучаемого процесса, неожиданные режимы работы проектируемой установки, в результате чего появляется желание уточнить те или иные детали процесса. Математическая модель модифицируется, как правило усложняется, и начинается новый цикл вычислительного эксперимента. Иногда возникает и такая ситуация. После нескольких описанных циклов вычислительного эксперимента поведение исследуемого объекта становится достаточно ясным и понятным. На очереди оптимизация рассматриваемого режима или процесса по параметрам, количество которых, как уже упоминалось, может быть значительным. Проведение для этого больших расчетов может оказаться чересчур дорогим. И здесь идут на упрощение модели, на построение своего рода «инженерных формул», но опирающихся на сложные модели и расчеты и дающих возможность получить необходимую информацию значительно более дешевым способом.

Обычно на последнем (5-м) этапе исследователь приходит к заключению о том, что необходимо внести определенные изменения в решения, принятые на этапах 1, 2 или 3. Так, может выясниться, что построенная модель недостаточно хорошо выражает особенности исследуемого явления. В этом случае модель корректируется, вносятся соответствующие поправки в численные методы и реализующие их программы и выполняется новый расчет. Тем самым цикл вычислительного эксперимента воспроизводится в полном объеме.

При анализе результатов могут быть выявлены какие-либо недостатки используемых численных методов, связанные, в частности, с ображениями точности или эффективности. Изменение методов влечет за собой изменение соответствующих программ и т.д. Иначе говоря, цикл повторяется в несколько сокращенном виде (этапы 2–5).

Наконец, может оказаться неудачным некоторое программное решение, например выбранный способ работы с внешней памятью. Пересмотр таких решений приводит к повторению этапов 3–5.

19.3. Особенности программной реализации

Разумеется, циклы, подобные циклу вычислительного эксперимента, возникают практически в любом мало-мальски сложном программном проекте. Самая первая версия программы обычно чем-нибудь не удовлетворяет разработчика или заказчика, и приходится уточнять постановку задачи, улучшать отдельные алгоритмы и т.д. Однако в большинстве случаев достаточно бывает выполнить несколько циклов, требующих сравнительно небольших усилий, и программа обретает желаемый вид.

Совершенно иначе обстоит дело в вычислительном эксперименте. Здесь программа мыслится как экспериментальная установка, от первых опытов с которой вряд ли следует ожидать сколько-нибудь интересных результатов. Данные первых опытов послужат всего-навсего отправной точкой длительного процесса изменений и усовершенствований установки, который только и способен привести к достаточно обоснованным заключениям об исследуемом объекте.

Таким образом, появление первоначальной версии программы лишь в самых общих чертах намечает направление исследований. Основная же работа по программированию еще впереди – она связана с многократными модификациями программы, отражающими эволюцию математической модели и методов ее расчета. Число циклов вычислительного эксперимента, каждый из которых сопряжен с модификацией расчетной программы, нередко достигает десятков тысяч. Поэтому рациональная организация таких модификаций – ключ к эффективному программированию данного класса задач.

Продолжая параллель с натурным экспериментом, можно заметить, что там обычно не спешат выбрасывать на свалку отдельные узлы, изъятые или замененные в экспериментальной установке при проведении очередного опыта: они еще не раз могут пригодиться впоследствии. Аналогично и решения (а вместе с ними и соответствующие им фрагменты программ), пересматриваемые на очередном цикле вычислительного эксперимента, как правило, не отбрасываются и могут использоваться затем для других расчетов. Например, метод, оказавшийся непригодным для одной модели, вполне может подойти для расчета следующей модели и т.д.

Итак, главное направление деятельности программиста, занятого вычислительным экспериментом, – не создание новых, а развитие существующих программ. Это развитие осуществляется, как правило, не за счет замены имеющихся модулей их более совершенными версиями, а за счет расширения: включения в программный фонд все новых и новых модулей, отражающих различные решения, принимаемые в ходе эксперимента.

Накапливаемые модули могут затем комбинироваться в самых разнообразных сочетаниях, позволяя тем самым провести достаточно систематическое и глубокое исследование. Потребность в подобных манипуляциях над модулями регулярно возникает в связи с тем, что исследователь постоянно конструирует новые варианты модели, сочетающие в себе те или иные выполнявшиеся когда-либо изменения или уточнения. Таким образом, интересующая нас многовариантность программ вычислительного эксперимента является закономерным следствием изначальной многовариантности модели.

Сложность реализуемых математических моделей, а также необходимость хранения многочисленных вариантных модулей приводят к тому, что характерные размеры программного фонда вычислительного эксперимента оказываются довольно внушительными. Число участвующих в расчетах модулей здесь нередко достигает нескольких тысяч, а суммарная длина текстов программ — сотен тысяч строк.

Организовать эффективное функционирование и развитие столь обширного, сложного и специфичного программного хозяйства очень нелегко. Тем не менее жизнь показала, что все возникающие здесь трудности вполне преодолимы и методом вычислительного эксперимента были успешно решены многие важные практические задачи. История программирования задач вычислительного эксперимента насчитывает свыше трех десятилетий, и за это время накоплен весьма значительный опыт, позволяющий говорить о существовании определенной технологии работы с многовариантными программами. Эта технология оказалась достаточно надежной и эффективной; именно добротностью применявшейся технологии объясняется жизнестойкость известных программных реализаций вычислительного эксперимента.

В задачах вычислительного эксперимента в полной мере проявляются практически все специфические особенности многовариантных программ. В то же время вычислительный эксперимент является наиболее крупным потребителем технологии многовариантности. Поэтому выражения «программирование задач вычислительного эксперимента» и «создание многовариантных программ» иногда будут использоваться как синонимы. Для проведения крупномасштабных научных исследований используется модульная технология, основанная на модульном представлении: математических моделей; вычислительных алгоритмов; программ для ЭВМ; технических средств. Сборка программ из модулей проводится автоматически, с помощью специальной программы. Создаются программные комплексы и проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ многоцелевого назначения. Характерная особенность пакетов состоит в возможности постоянного развития, расширения благодаря включению новых модулей, реализующих новые возможности. Следует отметить, что один и тот же пакет прикладных программ может быть использован в вычислительных экспериментах для исследований различных реальных объектов.

В современной науке и технике появляется всё больше областей, задачи в которых можно и нужно решать методом вычислительного эксперимента, с помощью математического моделирования. Обратим внимание на некоторые из них.

Энергетическая проблема. Прогнозирование атомных и термоядерных реакторов на основе детального математического моделирования происходящих в них физических процессов. В этой области работа ведётся очень успешно. Вычислительный эксперимент тесно сопрягается с натурным экспериментом и помогает, заменяет и удешевляет весь исследовательский цикл, существенно его ускоряя.

Космическая техника. Расчёт траекторий летательных аппаратов, задачи обтекания, системы автоматического проектирования. Обработка данных натурного эксперимента, например, радиолокационных данных, изображений со спутников, диагностика плазмы. Здесь очень важной оказывается проблема повышения качества приборов, и в частности измерительной аппаратуры. Между тем в настоящее время показано, что, используя измерительный прибор среднего качества и присоединив к нему ЭВМ, можно на основе специальных алгоритмов получить результаты, которые дал бы измерительный прибор очень высокого качества. Таким образом, сочетание измерительного прибора с компьютером открывает новые возможности.

Технологические процессы. Получение кристаллов и плёнок, которые, кстати, нужны для создания вычислительной техники, для решения проблем в области элементной базы (что невозможно без математического моделирования); моделирование теплового режима конструктивных узлов перспективных ЭВМ, процессов лазерной плазмы, технологии создания материалов с заданными свойствами (это одна из основных задач любой технологии).

Экологические проблемы. Вопросы прогнозирования и управления экологическими системами могут решаться лишь на основе математического моделирования, поскольку эти системы существуют в «единственном экземпляре».

Гео- и астрофизические явления. Моделирование климата, долгосрочный прогноз погоды, землетрясений и цунами, моделирование развития звёзд и солнечной активности, фундаментальные проблемы происхождения и развития Вселенной.

Химия. Расчёт химических реакций, определение их констант, исследование химических процессов на макро- и микроуровне для интенсификации химической технологии.

Биология. Особо следует отметить интерес к математическому моделированию в связи с изучением фундаментальных проблем этой науки (генетики, морфогенеза) и разработкой новых методов биотехнологии.

Классической областью математического моделирования является физика. До недавнего времени в физике микромира (в квантовой теории поля) вычислительный эксперимент не применялся, поскольку было принято использовать метод малого параметра – таким является постоянная тонкой структуры. Однако сейчас физики-теоретики пришли к выводу, что процессы в микромире сильно нелинейны, и поэтому необходимо переходить к численным методам и для этой цели даже разрабатываются специальные компьютеры.

Анализ математических моделей [5] с помощью вычислительного эксперимента с каждым годом завоёвывает новые позиции. В 1982 г. Нобелевская премия по физике была присуждена К. Вильсону, предложившему ряд фундаментальных моделей в теории элементарных частиц и критических явлений, которые необходимо исследовать численно. В 1979 г. Нобелевской премии по медицине была удостоена работа в области вычислительной томографии (восстановление объёмного предмета по набору его сечений). В 1982 г. Нобелевской премией по химии отмечена работа, в которой методами вычислительной томографии восстанавливалась структура вируса по данным электронной микроскопии.

Каждая из этих работ приводит к постановке глубоких математических задач, для решения которых необходим вычислительный эксперимент. При постановке вычислительного эксперимента в различных областях используются пакеты прикладных программ.

19.4. Пример применения вычислительного эксперимента

Речь пойдет о так называемом уравнении переноса, которое является простейшей моделью уравнений газовой динамики и применяется, например, для расчетов теплообмена РЭА в замкнутом корпусе. Это уравнение выглядит следующим образом: $\frac{du}{dt} + a \frac{du}{dx} = 0$, где функция $u(x, t)$ задает амплитуду возмущения, пришедшего в момент времени t в точку пространства x ; a – положительная постоянная, имеющая смысл скорости распространения возмущения.

Причиной возмущений, процесс распространения которых описывается приведенным уравнением, является возмущение, созданное в начальный момент $t = 0$: $u(x, 0) = u_0(x)$. Пусть оно имеет форму, изображенную на рис. 19.2, а. Будем рассматривать решение нашего уравнения в неограниченном пространстве – Γ ($x < \Gamma$ при $t > 0$), чтобы избежать различных отражений от границ области, если она будет конечной (так называемая задача Коши).

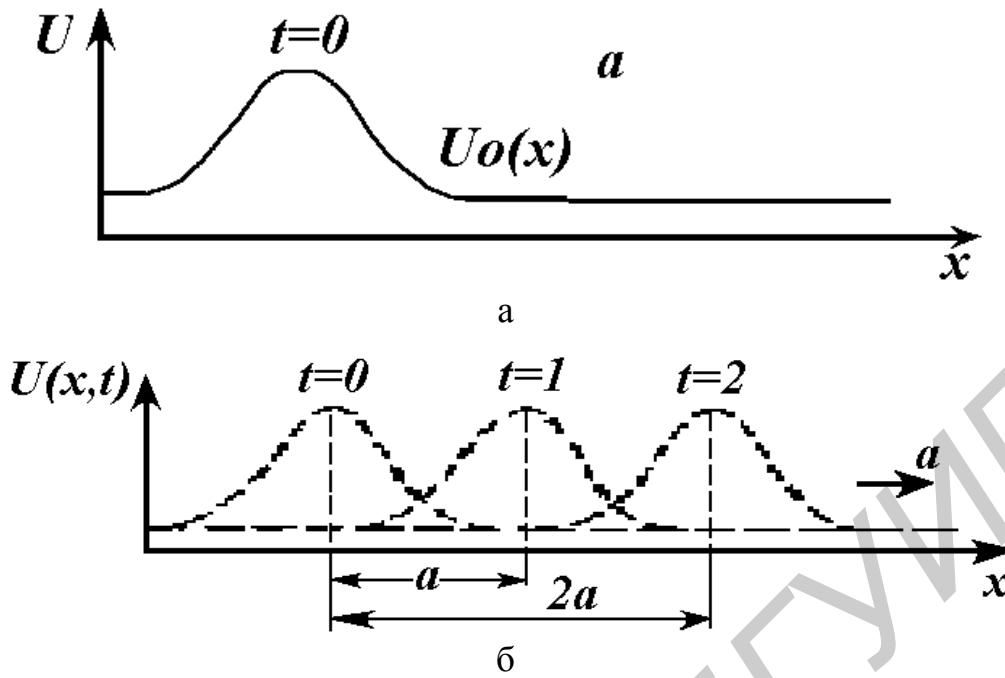


Рис. 19.2. Решение линейного уравнения переноса

Решение сформулированной нами задачи строится без труда:

$$u(x, t) = u_0(x - at).$$

Как видно, оно определяется начальными данными и состоит в том, что возмущение, не изменяя своей формы, распространяется (переносится) в пространстве со скоростью a (рис. 19.2, б). Отсюда и название самого уравнения. Столь простая конструкция решения есть следствие линейности уравнения. Действительно, неизвестная функция u , а точнее производные от нее, входит в уравнение в первой степени или, как говорят, линейно. Кстати, точно так же распространяются возмущения по натянутой струне, потому что уравнение колебаний струны хотя и записывается несколько более сложным образом, однако тоже является линейным.

Несколько изменим вид уравнения:

$$du/dt + u du/dx = 0.$$

Теперь оно стало нелинейным: второе слагаемое есть произведение искомой функции на ее производную по пространству. Решение его имеет ту же форму:

$$u(x, t) = u_0(x - Ut).$$

Но теперь роль a – скорости распространения профиля $u(x, t)$ играет множитель, стоящий в правой части перед t , т.е. само значение u . Таким образом, точки профиля $u(x, t)$, отвечающие большим значениям u , движутся быстрее, а меньшим – отстают. На рис. 19.3 показано, что «макушка» профиля $u(x, t)$ распространяется быстрее основания, профиль «перекашивается», и в некоторый момент времени решение формально становится трехзначным. В задачах физики, механики, радиотехники такая многозначность абсурдна, ибо не может, скажем, плотность газа иметь в какой-то момент времени в одной и той же точке физического про-

странства несколько значений. С точки зрения физики это означает, что в решении возник разрыв. Это типичное и важное свойство нелинейных задач – возможность возникновения со временем из гладких начальных данных разрывных решений. Примером могут служить ударные волны в газовой динамике, имеющие столь большое значение в прикладных задачах.

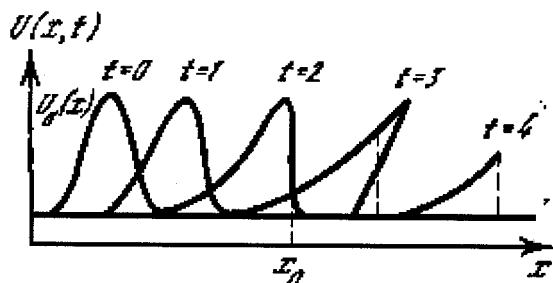


Рис. 19.3. Решение нелинейного уравнения переноса

«Картина», изображенная на рис. 19.3, напоминает волну, набегающую на морской берег. По мере того как глубина дна у берега уменьшается, падает и скорость движения основания волны. В конце концов гребень волны, обогнав основание, «заворачивается барашком». Эта аналогия порождена не только внешним сходством. В ее основе глубокое единство математического описания. Участки графика с большими значениями и смещаются быстрее – «макушка» волны обгоняет основание. В момент $t = 2$ график решения в точке x_0 становится вертикальным («градиентная катастрофа»), в дальнейшем ($t = 3$) формальное решение становится многозначным. Чтобы сохранить физический смысл, в решение необходимо вводить разрыв ($t = 3, t = 4$).

Важное свойство линейных задач, облегчающее их исследование и решение, состоит в том, что для них выполнен принцип суперпозиции. Это означает, что сумма двух решений линейного уравнения вновь является решением, и, кроме того, решение, умноженное на любое число, также удовлетворяет уравнению. Как следствие, сумма любого числа решений линейной задачи есть решение. Это дает возможность строить решение общей линейной задачи в виде суммы частных, простых, хорошо изученных решений.

Для нелинейных уравнений принцип суперпозиции несправедлив, и вся техника построения решений в виде сумм, столь хорошо развитая для линейного случая, уже не работает.

Пользуясь геометрическими образами, можно сказать, что решение линейной задачи в некотором смысле подобно прямой линии – по любому ее отрезку без труда восстанавливается вся линия. Если кривая имеет достаточно замысловатый вид, то представить ее ход нельзя иначе, как решая соответствующее ей уравнение.

Итак, нелинейные задачи представляют большую трудность для изучения и решения. Аналитические методы здесь уже, как правило, не работают. Решенных аналитически до конца серьезных нелинейных проблем насчитываются единицы. В этой ситуации приходится полагаться лишь на вычислительные методы. Между тем математические модели, порождаемые современными задачами науки и техники, как правило, нелинейны. Это обстоятельство является еще одной причиной того, что вычислительный эксперимент сейчас становится практически единственным средством проведения теоретических исследований в прикладных задачах.

Говоря о нелинейности, хотелось бы затронуть еще один момент. В технике в свое время был широко распространен метод проектирования исходя из достигнутого. Это означает, что конструктор, создавая, например, новую турбину или котел тепловой электростанции, исходил из опыта своих предшественников. Немного увеличив мощность или другие параметры, он мог достаточно надежно предсказать, как будет работать проектируемое им устройство.

С математической точки зрения при небольших изменениях параметров нелинейность задачи чувствуется слабо, имеется определенное подобие установок новой и старой, что и использует конструктор. Однако когда создаются установки, параметры которых заметно (в несколько раз) отличаются от имеющихся прототипов, никакого подобия уже нет и без предварительного математического моделирования создать экономичную и эффективную установку уже трудно. Тем более так обстоит дело, когда приходится сталкиваться с устройствами, в основу работы которых положены совершенно новые принципы и идеи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. М.: Наука, 1987.
2. Карцев В.П. Максвелл. М.: МГУ, 1976.
3. Уонт Кр. Кант. Ростов н/Д: Феникс, 1998.
4. Кузнецов Б.Г. Эйнштейн. М.: Наука, 1979.
5. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы. М.: Наука, 1988.
6. Гиндикин С.Г. Рассказы о физиках и математиках. М.: Наука, 1982.
7. Лук А.Н. Мышление и творчество. М.: ИПЛ, 1976.
8. Карцев В.П. Приключения великих уравнений. М.: Знание, 1971.
9. Нерсисянц В.С. Сократ. М.: Наука, 1980.
10. Никифоровский В.А. Из истории алгебры XVI–XVII вв. М.: Наука, 1979.
11. Попов Ю.П., Самарский А.А. Вычислительный эксперимент. М.: Знание, 1983.
12. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: ГТТИ, 1961.
13. Миллер М.А. Раздумья про раздумья //Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1994. Т. 2. № 6. С. 67–81.
14. Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. М.: Мир, 1993.
15. Кравченко В.Ф., Кураев А.А., Попкова Т.Л. Рациональные исчисления в задачах моделирования физических объектов //Электромагнитные волны и электронные системы. 2000. Т. 5. № 3. С. 41–50.
16. Кураев А.А. Вычислительный эксперимент в физике и технике СВЧ: проблемы моделирования, вычислений, оптимизации //СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Тр. 11-й Междунар. крым. конф. Севастополь, 2001. С. 29–32.
17. Кураев А.А. Мощные приборы СВЧ. Методы анализа и оптимизации параметров. М.: Радио и связь, 1986. 208 с.
18. Бунге М. Интуиция и наука. М., 1967.
19. Вальт Л.О. Мысленный эксперимент. Тарту, 1962.
20. Коршунова Л.С. Воображение и его роль в познании. М., 1979.
21. Михайлова И.Б. Чувственное отражение в современном научном познании. М. 1972.
22. Парамон Э.А. Роль фантазии в научном познании. М. 1984.
23. Самарский А.А. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. М.: Наука, 1988.
24. Пахомова Н.А. Методика формирования понятия «Вычислительный эксперимент». М.: Наука, 1984.
25. Поспелова Д.А. Информатика – энциклопедический журнал для начинающих. М.: Высш. шк., 1994.
26. Вейль Г. Математическое мышление. М.: Наука, 1989.

27. Филин В.П., Семенов В.Г., Алабин В.Г. Современные методы исследований. Харьков, 1994.
28. Коротков Э.М. Исследование систем управления. М., 2000.
29. Игнатьева А.В., Максимов М.М. Исследование систем управления. М., 2000.
30. Самарский А.А., Вабишевич П.Н. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. <http://www.imamod.ru/~vab/matmod/>
31. Вабишевич П.Н. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. <http://www.ibrab.ac.ru/caf/Vabilect.htm>
32. Наука и техника – «Летопись познания». <http://n-t.students.ru/tp/in/lp05a.htm>
33. Поппер Г. Логика и рост научного знания. Гл.6. http://www.philosophy.ru/library/popper/02_6.html
34. Виленский М.Я. Конструкция и действенность гипотезы. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1997N5/p15-17.htm>

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Кураев Александр Александрович

Теория и практика научных исследований

Текст лекций для магистрантов и аспирантов

Редактор Т.А. Лейко
Корректор Н.В. Гриневич

Подписано в печать 16.06.2005.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 5,7.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 300 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 6,16.
Заказ 5.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6