

Министерство образования и науки Российской Федерации
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

О. Д. ШИПУНОВА

ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2016

УДК 001 + 140.8 +167/168

ББК 72.3я73

Ш63

Рецензенты:

Доктор философских наук, профессор РГПУ им. А.И.Герцена

И.Б.Романенко

Доктор философских наук, профессор СПбПУ

Д.И.Кузнецов

Шипунова О.Д. **История и методология науки**: Учебное пособие.

СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2016. – 256 с.

Рассмотрены основные этапы истории науки, эволюция методов научного познания, дается представление о современной междисциплинарной методологии науки, принципах построения и анализа аргументации, культуре продуктивного мышления. Даётся характеристика современного информационного общества. Подчеркивается связь научной картины мира и методов науки в ее истории. Изложены принципы механической, электродинамической, квантово-механической, квантово-полевой картины мира, а также современной синтетической картины мира, которая формируется на основании концепции глобального эволюционизма и междисциплинарной системной методологии. Материал учебника опирается на справочные и хрестоматийные источники, современные учебники физики, химии, биологии.

Пособие предназначено для студентов Института энергетики и транспортных систем.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра
Великого.

ISBN 978-5-7422-5414-

© Шипунова О.Д., 2016

© Санкт-Петербургский
политехнический
университет Петра Великого, 2016

Введение

Современная наука объединяет множество различных дисциплин, каждая из них имеет свои специальные теории, концепции, методы и методики расчетов и экспериментов. Предмет курса «История и методология науки» не предполагает изучения конкретных методов вычислений и методики экспериментов. В задачу этой учебной дисциплины входит общее представление об исторических этапах познания природы, становлении научной рациональности, ее критериях и моделях объяснения явлений.

История науки определяется не только хронологией и персонологией конкретных открытий, но прежде всего познавательными стратегиями, указывающими перспективу исследований природы, общества и человека. Истоки собственно *научной рациональности* формируются в новоевропейской философии (XVIIв.) в противостоянии эмпиризма и рационализма, по-разному трактующих источник и метод получения научного знания.

Представления о строении мира, пространстве, времени, принципах движения и взаимодействия, которые вырабатывает наука, в современном мире является базовым знанием, необходимым для понимания мира каждым человеком в соответствии с уровнем знания своей эпохи. С научными представлениями соотносится развитие современной техники и технологии, а также мировоззренческие концепции в религии и философии. Поэтому изложение фактического материала истории науки в данном курсе подчинено логической связи мировоззрения, наиболее важных естественнонаучных теорий и методологии познания.

Часть 1. Общее представление о методологии научного познания

Раздел 1. Наука и научная рациональность

1. Формы знания. Мифология и наука.

В самом общем смысле термин «наука» (*scientia* – лат. знание) указывает на ту часть человеческой культуры, которая имеет отношение к объективному совокупному знанию о действительности, о природе человека и его бытии в окружающем мире. Выступая наиболее развитой формой познания в современной культуре, наука сосуществует с целым рядом ненаучных форм обыденного и практического знания.

Сложившееся в новоевропейской культуре представление о *научной рациональности* подчеркивает особый язык, причинные модели объяснения явлений, строгую форму логического и фактического обоснования утверждений и концепций. Под *рациональностью* понимается организованное абстрактное мышление, в основе которого лежит последовательное рассуждение в соответствии с законами логики.

В истории человечества само знание и его источники окутаны мистикой, его происхождение неясно. В древнем мире возможность оперировать знанием имел не каждый, а только посвященный. Так, например, в Пифагорейском союзе, посвященными были математики, владевшие истинным знанием, в отличие от акусматиков, владевших только знанием практическим. Обряд посвящения («мистерия») представлял собой путь обретения знания и требовал безоговорочной веры в священное знание и авторитет его источника. То, что человек не рождается со знанием, а также не очевидность истинного знания придавали особую значимость и магическую силу обряду посвящения. В древней Индии человек, получивший доступ к Ведам и ведическому знанию, считался дважды рожденным.

Становлению научного знания в истории человеческой культуры предшествует *мифология*, благодаря которой вырабатываются традиция систематического объяснения мира. Отличаясь целостностью (синкретичностью) представлений, мифология выступает прообразом различных форм знания. Она охватывает помимо религии зачатки философии, политический учений, донаучных представлений о мире и человеке, формы искусства.

В Античном мире возникает новая форма знания. Начиная с VII-VI вв. до н.э., мифологии противостоит философия, которая в объяснении мира и природных явлений опирается на разум и умозрение, отвергая мифы и пророчества.

Сложившаяся в европейской философии традиция рассматривать миф как чисто психологическое явление, рожденного поиском аналогий в сфере природных сил или обожествлением героев прошлого, привела к представлению о мифе как архаическом «недоразвитом» способе мышления. Мыслители эпохи Просвещения (18-19 вв.) видели в мифе только фантастическое отражение природы и общества, качественно низшее по отношению к науке, которая выступает главным способом получения знания о природе и человеке. В основании науки лежит сила человеческого разума, в отличие от мифа, который опирается на эмоцию, веру, авторитет традиции.

Научное познание характеризует *рациональность*, под которой понимается последовательная развертка мысли в соответствии с законами логики.

Познавательное значение мифа подчеркнул известный философ И.Кант в конце XVIII в., который рассматривал миф в качестве специфического модуса познания, считая его априорной (доопытной) формой мышления. Его последователь Ф.Шеллинг в XIX в. считал миф «образным двойником» философии. Э.Кассирер в XX в. видел в мифе те же основания опыта, что и в науке. Поиск логической конструкции, «рационалистической схемы» мифа положил начало структурализму - современному направлению философских, культурологических и антропологических исследований.

В истории человеческой культуры миф выступил первым систематическим средством объяснения и понимания мира.

Сами по себе процессы объяснения и понимания ассоциируются с естественными и непосредственными психическими реакциями человека, однако, они имеют глубокие социальные и культурные основания в становлении речевой коммуникации. Стихийное (в этом смысле естественное) развитие способов объяснения и понимания в человеческой истории определено необходимостью передачи опыта, трансляцией общезначимого содержания знания.

Объяснение предполагает подведение факта или события под некоторый общий закон, устанавливающий причинно-следственную связь событий. Благодаря объяснению становится возможным предвидение тех или иных явлений. Представление о законе в современном мире связано с теоретическими обобщениями в науке и социальными нормами, в древности оно имело характер откровения¹ и принималось на веру.

Структура мифа, которая впоследствии повторяется и в научном объяснении, содержит:

- базисные (априорные) положения, принимаемые на веру;
- закон развития и связи событий (своебразно понимаемую причину событий);
- критерий истинности (правильности) происходящего, который определяется «священным знанием» и соответствием событий их скрытой причине.

Древние космогонические мифы давали вполне определенную целостную картину мира. Закономерность происходящих событий опиралась в них на

¹ Согласно религиозным представлениям, *откровение* – передача исходящих от Бога и выраждающих его волю истин, которая осуществляется сверхъестественным способом.

универсальность кровнородственной связи, очевидность которой ни у кого не вызывала сомнения. В греческой мифологии олицетворенные боги вступают в соответствующие отношения, порождая в зависимости от обстоятельств богов, полубогов (героев – Ахилл, Геракл), людей. В то же время, представляя стихии (Посейдон – морская стихия) и силы (Хронос – время, Деметра – плодородие, Адонис – живое, растущее), они порождают также явления природы (и стихийные бедствия). А древнегреческий бог Гермес, который по легенде служит посредником между людьми и богами Олимпа, выступая истолкователем воли богов, порождает явления духовные и психические (эмоционально-интеллектуальные), связанные с процессом понимания. Перевод и толкование священных текстов в религиозной практике получили название *герменевтика* (искусство интерпретации).

Понимание предполагает собственное истолкование происходящего, соотнесение наблюдаемого с внутренними установками и личностным знанием. В процессе понимания совершается интенсивная эмоционально-интеллектуальная работа по превращению «чужих» истин (философских, научных или богооткровенных) в «свои». Трансляция общезначимого содержания знания, составляя основу механизма социальной памяти, совершается естественным для человека образом, благодаря порождению собственного (личностного) знания. Понимание в современной трактовке выступает способом бытия человека в мире, предваряя всякую его активность, характеризуя специфически человеческое отношение к действительности.

Понимание происходящего невозможно без доверия к источникам знания, самому знанию и своим впечатлениям. Первый шаг на пути понимания связан с обоснованием «истин», т.е. подтверждением их соответствия практическим и социальным действиям, а также внутренним ценностным установкам. Все это позволяет человеку принять или не принять ту или иную «истину».

Условием познания выступает процедура объяснения, которая, разворачиваясь в форме диалога, в зависимости от субъективных причин, запускает или не запускает процесс понимания.

В основе научного объяснения лежит рассуждение, которое является необходимой частью рациональных действий во всех сферах и на всех уровнях человеческой деятельности.

Объяснение, благодаря четко выраженной вербальной форме, является и фактором развития индивидуального интеллектуального опыта, и фактором

развития науки, поскольку научное знание утверждается в процессе общения, одной из форм которого предстает *обоснование*.

2. Формы обоснования знания

Человеческая мысль прошла длинный путь от мифологии как формы объяснения мира к научному знанию. Этот путь был связан с развитием социальной практики обоснования знания.

Необходимость обоснования знания понимали уже в глубокой древности. Знание вообще (тем более, истинное и священное) не дается фактом рождения. Способность к рациональной деятельности (*ratio* – лат. сознание, рассудок, разум) также не очевидна, поскольку не вытекает из естественной жизни природы и тела. В XVII в. именно это подчеркнул ученый и философ Р.Декарт, утверждая, что в физическом теле человека нет никакой души, поскольку тело полностью подчиняется законам кровообращения. В конце XX в. знание и его обоснование трактуются как естественные для человека формы познавательной деятельности.

Исторически первая, *сакральная форма обоснования* опирается на веру в священное знание. Его происхождение не обсуждается и не подвергается сомнению. Такая форма обоснования характерна для мифологического объяснения, в основе которого лежит принимаемое на веру представление о причинах развития событий. Сакральную форму обоснования, которая в современном мире наиболее ярко представлена религиозной практикой убеждения, можно назвать иррациональной, поскольку она обращена к эмоциональным побуждениям человека, его ценностным установкам, непосредственному пониманию, т.е. ко всему тому, что дает человеку неосознаваемую и неколебимую уверенность в себе, своих знаниях и действиях.

Особенность сакральной формы обоснования - символика, не требующая речевого объяснения, адресованная к эмоциональному интуитивному восприятию, которое выступает и критерием истинности знания. В древности даже математика опиралась на сакральную форму обоснования, поскольку практические измерения и числовые действия предполагали некоторое изначальное знание, которое давалось посвящением. Известно, что греческий философ Платон был посвящен в математики, однако усомнился в истинности исходных начал геометрии.

Эмпирическая форма обоснования знания, которая опирается на опыт, имеет древние истоки в развитии ремесел, земледелия, военных действий, практической астрономии и математики. В современном мире она строится на основании специально спланированных наблюдений и различного рода экспериментальных исследований.

Формированию умозрительной логической формы обоснования в истории культуры способствовало развитие в древнем мире искусства красноречия (риторики), а также появление натурфилософии как особой формы знания о мире, отличной от мифологии, математики и астрономии. Эта форма обоснования опирается на разум и способность аргументировано доказать истинность знания. Ее возникновение в истории культуры выражено метафорой «от мифа к логосу» (логос – греч. мысль, слово, закон).

Создание особой системы знания о правилах и способах доказательного рассуждения - логики, было величайшим достижением Античности. Развитие интеллектуальной практики умозрения как способа получения нового знания и практики аргументации как формы обоснования такого знания заложило основы логической культуры современного научного познания. Однако начало строго *научной формы обоснования*, которая включает логическое и эмпирическое подтверждение истинности знания, следует отнести к более позднему времени, когда формируется практика экспериментальной проверки утверждений о законах природы.

В XVII-XVIII вв. рост объективного знания о природе, становится настолько заметным социальным явлением, что возникает новая, *научная форма мировоззрения*.

3. Общие характеристики научного знания

В современном социуме наука представлена особыми институтами, в рамках которых протекает деятельность научных коллективов, школ и сообществ, направленная на получение новых знаний о природе, человеке, обществе. Особый мир науки характеризуют эксперименты, публикации, дискуссии, открытия. За каждые 10-15 лет информация в сфере науки удваивается. На рубеже третьего тысячелетия наука охватывает огромную социальную сферу, в которой свыше 5 млн.чел. занято интенсивной познавательной деятельностью.

Цель науки – выявление объективных закономерностей, получение и наращивание *позитивных* (положительных) знаний о мире, которые

становятся основой его преобразования. Такое видение науки как положительной философии выдвинул О.Конт в XVIII в., положив начало позитивизму, который, пройдя несколько этапов своего развития, в начале третьего тысячелетия претендует на роль философии науки.

В современном понимании *наука* – динамичная система объективных истинных знаний о существующих связях действительности, получаемых в результате специфической общественной деятельности и превращаемых в непосредственную практическую силу общества.

Научное знание – целостная система, погруженная в историческую социокультурную среду. Наука призвана давать суммарное, совокупное знание о мире. Однако единство мира (в силу его постоянного изменения) не может быть исчерпывающее раскрыто и описано какой-то одной наукой, или совокупностью наук. Каждая эпоха вырабатывает лишь обобщенную научную картину мира, опираясь на философско-мировоззренческие концепции.

Современную науку характеризуют две тенденции, взаимно дополняющие друг друга:

- дифференциация научного знания, обусловленная стремлением к более точному детальному описанию явлений;
- интеграция научного знания, обусловленная поиском наиболее фундаментальных закономерностей, стремлением к обобщенной картине мира.

В соответствие с процессом *дифференциации* знаний постоянно изменяется дисциплинарный строй науки. Появление и развитие новых дисциплин закономерно. Однако стремление тщательно исследовать и изучить отдельные стороны действительности приводит к узкой профессиональной специализации в области научных исследований. Это выражается в разработке особого понятийного аппарата, определяющего язык науки, без усвоения которого исследователь не достигает необходимого уровня понимания проблем данной дисциплины, ее теорий и методов проведения эксперимента. Кроме того, в рамках одной научной дисциплины возникают узкоспециализированные направления со своей лексикой и методикой исследования.

Характерное для науки стремление сформулировать фундаментальные законы, отображающие единство мира и целостность природы, делает закономерным процесс *интеграции научного знания*. Его необходимость вызвана формированием научной картины мира, что в современной ситуации при наличии множества естественных дисциплин, каждая из которых

претендует на свое видение мира, оказывается сложной проблемой. Процесс интеграции научного знания осуществляется, благодаря разработке общенациональной терминологии. До второй половины XX в. общенациональным статусом обладала только математика, в конце века складывается комплекс общенациональных дисциплин: информатика, кибернетика, теория систем, синергетика, теория управления. В практике научных исследований распространяются *междисциплинарные проекты*, в которых участвует творческая группа ученых разного профиля, объединенных решением общей проблемы (например, проблема искусственного интеллекта).

Общими характеристиками научного знания выступают

- обоснованность (прежде всего эмпирическое подтверждение теоретических выводов);
- концептуальность, под которой понимается последовательность и теоретическая ясность в описании и объяснении явлений;
- возможность прогнозировать события, опираясь на полученное знание.

Структура научного знания, независимо от предметной области науки включает следующие формы знания:

- *факторологическое знание*, возникающее в ходе научно-практической деятельности, в результате систематизации наблюдений и эмпирических обобщений; важно подчеркнуть, что научный факт отличается от мнений и обыденских суждений объективностью, повторяемостью, независимостью от условий (в частности от количества наблюдений, исторических событий, погодных изменений и т.п.), соотнесенностью с теорией;
- *теоретическое знание*, которое формируется умозрительно, с помощью абстрактного мышления, дедукции, мысленного эксперимента, что позволяет анализировать виртуальные процессы и выявлять не наблюдаемые явно закономерности; теоретическое знание имеет концептуальный, выводной характер, разворачивается в таких формах как проблема, гипотеза, теория, закон, принцип, выражается формально математически;
- *техническое знание*, которое формируется прикладными науками как знание о практическом приложении фактологических и теоретических знаний с целью создания изделий и технологий, достижения определенного технического эффекта; способ получения такого знания – конкретизация выводов теорий, проектирование, моделирование, расчет;

- *праксеологическое знание*, которое формируется как знание об экономической эффективности применения той или иной теоретической модели.

Научное знание отвечает определенным критериям: предметности, воспроизведимости, объективности, обоснованности, полезности. Выступая наиболее развитой формой познания в современной культуре, наука сосуществует с целым рядом форм обыденного и практического знания. По характеру интеллектуальной деятельности различают эмпирический и теоретический уровни научного познания (исследования).

На *эмпирическом уровне* наука обращена к реальным процессам и явлениями познания. Исследование разворачивается через непосредственное действие ученого в форме наблюдения, измерения, эксперимента. Результатом эмпирического исследования выступают обобщения, фиксирующие необходимую причинную связь явлений. На основании такого рода обобщений формируется *вероятное знание*, которое подтверждается опытом наблюдений, но требует более строгого обоснования через взаимосвязь с той или иной теорией. Эмпирические обобщения составляют основание фактологического знания, но, строго говоря, имеют форму и характер гипотез.

На *теоретическом уровне* исследования наука имеет дело не с материальными предметами и явлениями, а с абстрактными идеализированными моделями, представляющими классы объектов и области виртуальных процессов (например, законы идеального газа в термодинамике). Результатом теоретического исследования выступает существенная закономерность. Методы теоретического исследования – мысленный эксперимент, формализация, аксиоматизация, идеализация, математическое, информационное моделирование, гипотетико-дедуктивное обоснование. Теоретические утверждения не сводимы ни к реальному объекту, ни к их множеству. Поэтому эмпирическая проверка теоретических выводов и моделей представляет собой особую область деятельности в науке, связанную с разработкой методики постановки и проведения эксперимента.

Развитие научного и прежде всего теоретического знания связано с постановкой проблемы и обоснованием гипотез. Процедуры и принципы обоснования выдвигаемых гипотез составляют предмет методологии научного познания. Отсутствие обоснования дискредитирует гипотезу настолько, что она не может быть предметом дальнейшего обсуждения в научном сообществе.

4. Классификация наук.

В основании классификации научных дисциплин в современном познании лежит предмет исследования. *Естественные науки* дают знание о природе, *гуманитарные науки* направленны на исследование духовной жизни общества и человека. И те, и другие подразделяются на фундаментальные и прикладные. В системе гуманитарных наук выделяются *общественные науки*, предметом которых является общество в его обособленности от природы и человека, и *науки о человеке*, предметом которых является человек в его различных ипостасях и статусах.

Фундаментальные науки исследуют наиболее общие базовые отношения выделенной области, выявляют закономерности, которые на первый взгляд вовсе не имеют отношения к практической жизни человека и общества, не приносят явно выраженного результата в виде экономической прибыли. Фундаментальные исследования всегда выглядят роскошью, поскольку требуют вложений без гарантии возврата, и определяются только познавательными проблемами самой научной области, а не практическим применением достижений науки. Эту функцию выполняют прикладные науки.

В гуманитарной области к фундаментальным наукам относят философские науки, общественные науки, дающие знание об обществе в его специфике (обществознание), науки о культуре и человеке (антропология, психология). В прикладном значении можно выделить три направления гуманитарного знания: социологическое – обращенное к исследованию коммуникаций и общественных институтов, экономическое – обращенное к базисным общественным отношениям и закономерностям распределения общественного богатства, государственно-правовое – обращенное к анализу структуры общественных систем (политические науки и науки о государстве).

Фундамент естествознания образуют такие науки, как физика, химия, биология, геология, астрономия, космология. Современное естествознание представляет собой систему фундаментальных и прикладных (физическая химия, бионика, молекулярная биология, теплофизика и т.п.) наук.

Вся совокупность знаний о природе формируется естествознанием, куда входит комплекс научных дисциплин, изучающих строение материального мира и его законы, а также природу человека на основании эмпирически подтвержденных теорий. *Естественные науки* имеют дело с фактами, процессами, явлениями, которые остаются неизменными, несмотря на время и место, и не зависят от воли человека, то есть определяются законом природы.

Главная цель естествознания – выявление причинно-следственных связей в цепи наблюдаемых событий. Поэтому законы, сформулированные в системе естествознания, называют объективными законами природы, указывающими причины явлений. Такой характер имеют известные из школьного курса физики законы механики, термодинамики, электродинамики.

Объяснения, которые строятся на основании объективных законов природы, называют *причинными объяснениями* (или каузальными, от лат. *causa* – причина). На выявление таких законов нацелена вся система естественных наук.

5. Критерии научного знания

Общими характеристиками научного знания выступают: обоснованность (прежде всего эмпирическое подтверждение теоретических выводов); концептуальность, под которой понимается последовательность и теоретическая ясность в описании и объяснении явлений; возможность прогнозировать события, опираясь на полученное знание. Эти установки определяют *критерии*, которые призваны разграничить область научного и вненаучного знания.

1. *Системность* – критерий, подчеркивающий взаимосвязь разных уровней научного знания, ключевую роль формального языка и концептуального основания (теоретического и метатеоретического) в обеспечении этой взаимосвязи. Научное знание отличает аксиоматическое построение теории (пример, классическая механика, геометрия), формулирование основных понятий и принципов, составляющих основу специального языка объяснения и описания явлений (например, понятие материальной точки, силы, принцип сохранения энергии в физике). На основании принятых исходных принципов и понятий выводится и обосновывается новое знание, интерпретируются новые факты, результаты опытов, наблюдений, измерений, экспериментов. Практические выводы, прогнозы, рекомендации, расчеты строятся на концептуальной теоретической базе с применением математического аппарата

2. *Соответствие накопленным знаниям* – критерий, подчеркивающий преемственность научного знания, разграничивает научное и ненаучное, указывает на необходимость владения терминологией соответствующей дисциплины. Иначе, рост знания становится проблематичным. Несоответствие этому критерию затрудняет коммуникацию

и движение идей в научном сообществе, подчеркивается понятием *дилетантизм*. Однако, как показывает история науки, новые идеи часто оказываются в противоречии с этим критерием.

3. *Целенаправленность* на постижение истины – критерий, подчеркивающий самоценность и самодостаточность научного знания. Цели науки определяются только познавательным движением, необходимостью роста знания о мире. В этом смысле наука не имеет отношения к морали, в отличие от практического использования ее результатов.

4. *Рациональность* – критерий, подчеркивающий приоритет разума в получении научного знания по отношению к эмоционально-интуитивному восприятию и предвидению событий, отделяет от научного знания сверхчувственное и сверхъестественное.

5. *Интерсубъективность* – критерий, указывающий на инвариантность и общезначимость научного знания, возможность его многократной практической проверки, подчеркивает ориентацию на рост объективного, истинного знания о происходящих процессах, явления, событиях.

6. *Принципиальная проверяемость* – критерий, требующий экспериментальной проверки научных теорий и гипотез, разделяет научные и ненаучные проблемы и гипотезы, ограничивает горизонт научного познания только принципиально наблюдаемыми явлениями.

2. Методология науки

1. Предмет методологии науки

Предмет методологии науки в наиболее общем виде определен вопросом: какие средства, установки и методы адекватны современному уровню развития научного знания?

Человеческие знания постоянно меняются, поэтому один и тот же факт может быть по-разному объяснен в зависимости от исторического периода в развитии науки. Например, объясняя тепловые явления, ученые XVIII в. видели причину нагревания тел в присутствии «теплорода», который переносит тепло от одного тела к другому, а в XIX в. процессы нагревания и охлаждения объясняются на основании законов сохранения энергии.

Историческое место методология обрела в процессе критического анализа принципов и методов познания. Начало формирования методологии в истории культуры связано с процессом освобождения натурфилософии от церковных догматов и становлением научного мировоззрения в XVII-XVIII вв. Поиск

истинного метода получения знания в Новое время становится центральной проблемой западноевропейской философии, наиболее ярко представленной противопоставлением принципов эмпиризма (Ф.Бэкон) и рационализма (Р.Декарт), трактующих источник познания с противоположных позиций: знание – из опыта или знание – из врожденных идей. Истинным методом науки признается соответственно либо индуктивный метод (как способ обобщения фактов, экспериментальных данных), либо дедуктивный (выведение следствий из общих положений).

Метод (с греч. – путь исследования) всегда подразумевает систему регулятивных принципов человеческой разумной деятельности. От метода часто зависит судьба исследования в науке, поскольку к одним и тем же фактам можно подойти по-разному и сформулировать на этом основании неоднозначные или совершенно противоположные выводы. Верная картина может быть получена при адекватном подходе к изучаемому явлению. В поиске такого подхода и заключается проблема метода. Ф.Бэкон сравнивал правильный метод со светильником, освещющим дорогу в темноте. Ему же принадлежит замечание, что даже хромой, идущий по дороге, опережает того, кто бежит без дороги. Создать такую дорогу в неизвестное – цель методологии. В этом она опирается на общую мировоззренческую картину, чтобы выявить условия закономерного развития действительности и обусловленные этим формы практического и теоретического действия.

Процесс научного исследования осуществляется всегда на основе исторически выработанных методов науки. Никто и никогда не ловил истин вслепую, «голыми руками». В качестве объективной основы научного метода выступает система знания, отражающая закономерности движения изучаемого предмета. Познанные закономерности составляют объективную сторону метода, а возникшие на их основе приемы исследования и преобразования явлений – субъективную. В методе познания объективная закономерность превращается в правило действия субъекта. Именно поэтому всякий метод является системой правил или приемов.

2. Методологические принципы

Методологические принципы представляют собой определенной познавательные установки, которые играют роль связующего звена в движении науки, обеспечивая единство развития знания на разных субъектных уровнях научного творчества. Методологические установки

задают идеалы и нормы исследования в соответствии с представлениями о мире и конкретной дисциплинарной теорией.

Предписательный характер методологического принципа (например, системность) вытекает из непрерывности и семантической связности общего массива знания в науке.

Методологические принципы формируются на трех уровнях. На мировоззренческом уровне формируется *гносеологический принцип*, фиксирующий характер причинной связи и указывающий на общий подход к исследованию явлений. В рамках мировоззренческой установки (проясняющей, как устроен мир) гносеологический принцип указывает, как сформировать первичное представление об объекте исследования. Например, различие в мировоззренческих установках Средневековья и Нового времени определяли и различие познавательных принципов. Если мир создан Богом, един и один, то он должен подчиняться провидению. Отсюда следует телеологический принцип в подходе к явлениям: конечная причина - в Божьей воле. В Новое время признаются два основания мира – природное и божественное. С одной стороны, в мире действуют законы природы, познаваемые людьми. С другой стороны, первоначальная данность пространства и времени представляет реальность иного рода. Абсолютность пространства признается как некое Богом данное вместилище, в котором разворачиваются природные процессы, сводимые к принципу внешнего (механического) взаимодействия. Гносеологический принцип натурфилософии Нового времени – механистический детерминизм – определял познавательную стратегию в естествознании до 20в.

На теоретическом уровне формируются методологические принципы конкретной теории, направляющие исследовательские программы (например, аналитический, генетический, структурный, функциональный, системный).

На эмпирическом уровне методологические принципы выражены в нормах конкретных познавательных ситуаций и действий, таких как созерцание, наблюдение, эксперимент, моделирование.

Конкретные науки вырабатывают свою методологию, связь которой с мировоззренческим, философско-методологическим уровнем неочевидна и присутствует обычно неявно – как само собой разумеющееся основание, которое принимается без обсуждения. Для естествознания таким основанием, например, является материальность мира, объективность пространства и времени. Иногда мировоззренческий контекст вовсе игнорируется (как не имеющий ценности для позитивной науки). Однако интуитивное ощущение,

что некоторые идеи носятся в воздухе, сопоставление познавательного (гносеологического) принципа культурной эпохи с развитием конкретных теорий в специальных областях знания, свидетельствуют о наличии такой связи.²

Многообразие имеющихся в настоящее время научных теорий порождает многообразие методов. Одни методы общенаучные, другие употребляются только в узкой области научного познания. Одни методы применяются в эмпирическом познании, другие используются преимущественно на теоретическом уровне. Современная наука располагает множеством общих и частных, эмпирических и теоретических, содержательных и формальных, качественных и количественных, динамических и вероятностно-статистических методов познания. Систематизация методов, выяснение их эвристических возможностей, установление границ их действия составляют особый предмет философии и методологии науки.

На теоретическом уровне естественнонаучного знания формируются методологические принципы конкретной теории, направляющие исследовательские программы (например, аналитический, генетический, структурный, функциональный, системный).

На эмпирическом уровне методологические принципы выражены в нормах конкретных познавательных ситуаций и действий, таких как созерцание, наблюдение, эксперимент, моделирование.

Универсальные методы науки – это методы, характерные для человеческого мышления. Они интуитивно используются в обыденной жизни, в любой сфере профессиональной деятельности с той или иной мерой осознанности. Но в научном познании они составляют необходимую логическую базу, основу индивидуальной познавательной и творческой деятельности. Интеллектуальный отбор в сфере профессиональной подготовки научных работников требует от человека гибкости и остроты ума, что проверяется по уровню владения универсальными методами абстрактного мышления, к которым относят:

1. Анализ – расчленение целого
2. Синтез – соединение конкретных свойств в целостную картину явления
3. Абстрагирование – отвлечение в процессе анализа и синтеза от несущественных деталей

² См.: Хюбнер К. Критика научного разума. М.1994.

4. Обобщение – выявление общих свойств и закономерностей на основании аналогии, индукции, моделирования.

5. Дедукция – построение вывода, исходя из общего правила и общей посылки (аргумента)

6. Классификация

Выделенные методы позволяют построить убедительное обоснование, составляя логическое основание практики научного объяснения. Интеллектуальная практика объяснения состоит в следовании социокультурным моделям рационального действия, в которых фиксируется схема актуализации знания, что помогает человеку организовать свою мыслительную деятельность.

Модели объяснения направлены на эффективность процесса обоснования, целью которого является подтверждение истинности гипотезы и признание ее научным сообществом.

Наиболее известная *дедуктивная модель объяснения* представляет собой порождающий алгоритм, который ориентирует на раскрытие причинно-следственных связей, использование универсальных законов совместно с конкретными наличными условиями. Объяснение реализуется в виде гипотезы, подтверждаемой или не подтверждаемой фактами. В результате возникает картина детерминации события (явления) более широкими связями, выявление зависимостей, позволяющих прогнозировать течение события (или поведение объекта). В рамках дедуктивной модели можно выделить генетическую, структурную, функциональную модели объяснения, в зависимости от характера исследуемых связей. В *генетических моделях* выделяются зависимости в отношении порождения явления, в *структурных моделях* выявляются закономерности, уточняющие отношение целого и его частей, а также характер и состав главных структур объясняемого явления, в *функциональных моделях* исследуется уровень взаимосвязи структур, явлений, событий.

Индуктивная (статистическая) модель объяснения - алгоритм, порождающий обобщение – ориентирует на систематизацию эмпирических фактов, массовых событий. Противоположная ей *телеологическая (или интенциональная) модель объяснения* связана с выявлением конечной цели или главного импульса (мотива, интенции – лат. стремление) того или иного события, что делает понятными, эмпирически наблюдаемые факты. Рассуждение в телеологической модели объяснения представлено «практическим выводом», в котором сопоставляются желаемый результат

(цель), средства достижения цели и возможные ограничения, а заключение представляет собой описание действия.

В идеале классической науки объяснение фактов и обоснование нового знания строятся через подведение наблюдаемого явления или события под общий закон (теорию или концепцию), отображающий регулярные, повторяющиеся связи, при этом одно из событий служит причиной возникновения другого. Объяснение обычно осуществляется с помощью общих высказываний, которые могут быть эмпирическими обобщениями (например, «Все лебеди белые», «Все тела падают на землю», «Все люди смертны») и теоретическими концептами, выраженными в математической форме (например, шесть уравнений Максвелла, которые получили название теории электромагнитного поля, закон Кулона, законы механики и т.п.).

2.1 Методологические принципы естественных наук

Эволюция методов научного познания в существенной мере определяется вопросами осмыслиния обобщенных базовых моделей причинного объяснения, в основе которых лежит та или иная форма детерминизма. Принцип причинной связи явлений и принцип единства мира составляют главную мировоззренческую и познавательную стратегию естествознания в его истории.

Детерминизм – мировоззренческая позиция, в которой постулируется причинно-следственная связь природных явлений, не всегда явно представленная в наблюдаемых событиях. Принцип всеобщей причинной связи был четко сформулирован в атомистическом учении Демокритом в жесткой форме, поскольку отрицал случайность в реальных событиях, утверждая однозначную связь причины и следствия. Элемент случайности был внесен в концепцию атомизма позже Эпикуром.

В новоевропейской классической науке, эта установка получила подкрепление и была обобщена Лапласом. «Демон Лапласа» - символ и метафора *механистического детерминизма*, выделившего универсальность силового (динамического) принципа причинно-следственной связи, который позволяет точно рассчитать все состояния объекта. Для «Демона Лапласа» мир прозрачен, предсказуем, в нем нет случайностей. В философии науки жесткий детерминизм, механистический, лапласовский, динамический представляют собой тождественные понятия.

Вторая форма детерминизма – статистическая, допускающая случайность в систему причинения, утверждается с развитием термодинамики, статистической физики и квантовой механики в начале 20в. Метафора и символ этой формы детерминизма – «Демон Максвелла», разделяющий горячие и холодные молекулы в сосуде, что позволяет ему нагреть правую часть сосуда и охладить левую без дополнительного подвода энергии к системе.³ Статистический принцип в объяснении причинения позволяет рассчитывать главную тенденцию в поведении системы, понимаемой как массовый объект. В этой форме детерминизма случайность в системе причин относится на счет инструментария субъекта, который не может рассчитать точно скорости микрообъектов. Например: скорости всех молекул идеального газа.

Третья форма детерминизма оформляется в конце 20в. как *вероятностный детерминизм*. В этой позиции утверждается фундаментальность вероятностных характеристик объекта, подчеркивается, что характер причинения зависит от условий и в этом смысле относительны. Получает новое толкование сам закон природы, который рассматривается уже не как объективный динамический закон, инвариантный и обратимый во времени. Закон природы имеет вероятностный характер и должен рассматриваться в параметрах времени, как вероятный и необратимый. Стрела времени Пригожина указывает на то, что в эволюции Вселенной не всегда существовали те взаимодействия и структуры, которые классическая и неклассическая физика считает объективными и описывает соответствующими законами.

В современной философии науки выделяют три *базовые модели естественнонаучного объяснения*: линейную, статистически-вероятностную и нелинейную, которые отличаясь формой детерминизма и приоритетного закона, соотносятся с тремя историческими типами научной рациональности: классической (механизм), неклассической (релятивизм) и постнеклассической (холизм). Под научной рациональностью в философии науки понимают стиль познавательной деятельности, который складывается в XVII-XVIII вв. на базе точного экспериментального естествознания и который характеризуется причинной моделью объяснения (теоретической), математическим языком описания, формой обоснования знания, сочетающей логическое доказательство и фактическую (экспериментальную) проверку. Исторический

³ См.: Фейнман Р. Характер физических законов. Библиотечка «КВАНТ», Выпуск 62. — М.: Наука, Изд. второе, исправленное, 1987.

типа научной рациональности определяется базовой моделью объяснения, стилем мышления, математическим инструментарием (см. таблицу 1).

Современную науку характеризует расширение понятия причинности. Современное естествознание оперирует уже, по крайней мере, пятью моделями объяснения причинных связей: *динамической* («детерминистской» - на основании действующей силы или внешней причины), *статистической* («индетерминистской» - включающей случайность в цепь причин и следствий), *телеономической* (рассматривающей движение системы к конечному результату), *телеологической* (целевой), *синхронической* (выделяющей фундаментальность повторяющегося совпадения событий).⁴

Телеономическая модель объяснения предполагает разные пути развития (движения) системы к конечному состоянию (например, скатывание шарика с горки, которое объясняется законом сохранения энергии). Другой пример – действие или развитие по некоторой программе (генетический код). Представление о телеономических процессах распространилось в естествознания благодаря биологу Эрнсту Майру, который выделил общность и различие телеоматических, телеономических и телеологических процессов. Объединяет три типа процессов направленность к некоторому конечному состоянию. Но телеоматические процессы пассивны и автоматически регулируются внешними силами или обстоятельствами (например, падение камня в пропасть под действием гравитации). Телеономическими процессами называют такие процессы, в которых достижение конечного состояния контролируется встроенной в них программой, в которой это конечное состояние запрограммировано. При этом оно не является действующей причиной. Например, развитие организма в соответствии с генетической программой. В телеологических процессах конечное состояние является действующей причиной. Телеологические процессы не просто направлены к конечному состоянию, они целенаправленны.⁵

Истоки представления о синхронизме как новом типе связей (в отличие от необходимо причинного и напротив - случайного) – в аналитической психологии К.-Г.Юнга. Исследуя психику человека, он пришел к выводу, что понятий причинности и случайности недостаточно для ее объяснения, решающее значение имеет повторяющееся совпадение событий. Синхроническая модель объяснения разрабатывается в современной

⁴ Философия науки. Вып.7: Формирование современной естественнонаучной парадигмы / РАН. Ин-т философии; Отв. ред.: Л.Б.Баженов, С.Н.Коняев. — М.: ИФ РАН, 2001. С.5-23.

⁵ Мамчур Е.А. Причинность и рационализм // Причинность и телеономизм в современной естественнонаучной парадигме. М.: Наука, 2002. С.18-21.

космологии (А.Линде). В экологии и в социобиологии эта модель представлена принципом коэволюции.

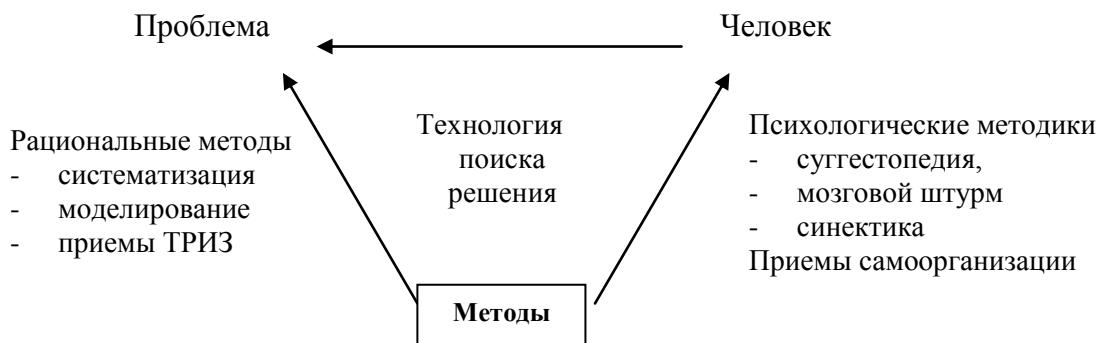
Таблица 1. Характеристика исторических типов научной рациональности

	Классический тип научной рациональности (объяснительный принцип - механизм) XVII-XIX нач.XX	Неклассический тип научной рациональности (объяснительный принцип - релятивизм) сер.XX	Постнеклассический тип научной рациональности (объяснительный принцип - холизм) конец XX – XXI
Базовая модель причинной связи	Линейная модель, динамический закон, принцип суперпозиции сил, возможность точного расчета и предсказания	Статистически-вероятностная модель, дополнительность динамического и статистического закона, возможность точного прогноза состояния	Нелинейная модель, принцип системной причинности (макродетерниации), вероятностный характер закона, вероятностный прогноз поля состояний.
Форма детерминизма	Механистический детерминизм (однозначная связь причины и следствия)	Статистический детерминизм (нежесткая связь причины и следствия)	Вероятностный детерминизм, относительность жесткого и нежесткого механизмов причинения
Математический аппарат	Аналитическая геометрия, Дифференциально-интегральное исчисление	Теория вероятностей	Теория катастроф Теория автоколебаний
Базовая теория	Классическая механика, классические теории в физике	Статистическая физика, Теория относительности, Квантовая механика	Неравновесная термодинамика, теория самоорганизации
Статус исследуемого объекта	Материальное (вещественное) тело, материальная точка	Материальная точка, массовидный объект (термодинамическая система – идеальный газ), квантовый объект (микро частица)	Открытая система (диссипативная), динамическая система с детерминированным хаосом
Схема описания объекта	Математический расчет состояния в параметрах координат, времени, массы, импульса (x,y,z,t,m,p)	Статистическое распределение, макрохарактеристики (термодинамические параметры: t, p), разграничение и дополнительность классической (динамической) и квантовой (вероятностной) схем описания	Фазовый портрет системы. Бифуркация, аттрактор, нелинейность, эволюция, системная методология

3. Методология развития научного знания.

В процессе научного творчества главным событием, центром и результатом деятельности выступает открытие. Путь к нему всегда сложен и неповторим. Попытка структурировать этот путь связана с выделением общих параметров научного исследования, которые могут служить опорой в планировании и организации индивидуального опыта творческой деятельности. Выбор того или иного познавательного действия определяется, с одной стороны, объектом исследования, с другой, - познавательными возможностями исследователя. *Обусловленность* научного поиска - главное ограничение, в рамках которого совершается выбор того или иного шага в процессе творчества.

Специфика творчества в науке определяется взаимосвязью трех компонентов: 1) проблемы (задачи), 2) эвристических методов, 3) интеллекта и психологических особенностей человека. Поэтому научное творчество – это всегда интенсивная интеллектуальная работа. Схематично можно представить комплексную методологию развития научного знания в деятельности конкретного человека следующим образом.



Способы совершенствования технологии творческой деятельности в первую очередь касаются работы с проблемой. Здесь важнейшее звено - анализ информации, представление знания и активизация поиска возможных путей ее решения. Рациональные методы творчества имеют большую историю и в настоящее время наиболее разработаны в алгоритмической системе ТРИЗ.

3.1 Обоснование и развитие проблемы

В общем смысле под *проблемой* понимается отражаемая системой вопросов и высказываний ситуация, для которой характерно наличие цели и

отсутствие знания о путях ее достижения. Проблема - нечеткая смысловая структура, имеющая некую информационную «среду обитания», контекст. Упорядоченный контекст в виде связной системы понятий и представлений образует фрейм проблемы – семантическое пространство, в котором осуществляется поиск путей ее решения.⁶

Более определенно проблема - достаточно фундаментальная в практическом и теоретическом отношении задача, способы решения которой неизвестны или известны не полностью. При этом различают два вида проблем: развитые и неразвитые.

Неразвитая проблема - это нестандартная задача, не имеющая алгоритма решения, которая возникла на базе определенного знания и направлена на устранение противоречия между смысловой и фактической стороной познавательной ситуации.

Развитая проблема - это «знание о некотором незнании», дополненное указанием путей устранения очерченного круга незнания. Другими словами, это некоторая ограниченная область поиска, в которой просматривается возможный результат и хотя бы общая стратегия исследования.

Проблемы возникают в любых сферах деятельности человека. В области науки, где спецификой является решение познавательных проблем, существует традиционная *практика обоснования проблемы*, которая представлена определенными требованиями к формулировке и постановке проблемы.⁷

Формулировка проблемы – сложная интеллектуальная операция, которая включает в себя, как правило, три части: 1) систему исходных утверждений или описание фактических данных, 2) постановку вопроса - что нужно найти, 3) методологический принцип - систему указаний на возможные пути решения, другими словами, стратегию поиска или эвристику. Для неразвитой проблемы невозможно или трудно выполнить последний пункт.⁸

Требования к постановке проблемы

1) Наличие обоснованного вывода о том, что избранная проблема не решена в мировой науке или предлагаемые решения неудовлетворительны (неполны, не аргументированы, содержат ошибки, имеют частный характер и т.д.).

⁶ Хилькевич А.П. Решение проблем в науке, технике, практической деятельности. Глава 1. М. 1999.

⁷ Берков В.Ф. Структура и генезис научной проблемы. Минск. 1983. Громыко Ю.В. Метапредмет «Проблема». М.1999.

⁸ Ивлев Ю.В. Логика. (Глава 9. «Формы развития знания»). М. 1998.

2) Анализ предшествующего опыта исследования по выявленной проблеме, чтобы избежать дублирования. В технике необходим анализ патентного фонда. Это требование предполагает: а) знание явлений, процессов, законов развития данной предметной области; б) знание истории вопроса: возможные подходы, методы исследования, неудачные попытки решения.

3) Обоснование актуальности проблемы для общества в дополнении к личной убежденности, что ее необходимо решать. Это требование подчеркивает вопрос о реальности проблемы: насколько она назрела и возможно ли ее разрешение в обозримом будущем.

4) Выявление основного противоречия проблемной ситуации.

5) Формулирование целей и задач исследования (что составляет стратегию конкретного исследования).

В развитии знания определенную конструктивную роль играют псевдопроблемы, или проблемы фиктивные, нереальные, кажущиеся, мнимые. С точки зрения принципа истинности (адекватности) они не имеют смысла, поскольку противоречит объективным фактам и законам. Такая проблема всегда принципиально неразрешима (например, проблема создания вечного двигателя).

Причины возникновения псевдопроблем:

- психологические - связаны с внутренней интенцией, стремлением, во что бы то ни стало преодолеть незнание, построить объясняющую модель или контекст;
- логические - связаны с недостаточной аналитической проработкой проблемы, невозможностью на уровне неразвитой проблемы оценить ее реальный статус (в познавательном плане) и масштаб (в социально-прагматическом плане);
- гносеологические – связаны с неполнотой и относительностью знания, неточностью информации, исторически ограниченным контекстом познавательной деятельности человека (например, И.Ньютон, который творил в XVIIв., не мог создать общую или частную теорию относительности).

Позитивная роль мнимых проблем на определенных этапах познания несомненна, поскольку самая несовершенная программа лучше отсутствия программы. Мнимые проблемы – своеобразные леса научного знания. В истории естествознания к мнимым проблемам можно отнести проблему «теплорода», определявшую в свое время поиск особого связующего вещества

в теплообменных процессах; проблему «эфира» как проблему светоносного вещества, заполняющего пространственно-временной континуум.

Постановка проблемы неявным образом включает мировоззренческий базис, который образует общий исторический контекст понимания конкретной ситуации. Это понимание, не всегда явно выраженное, составляет предпосылку проблемного вопроса.

Общий мировоззренческий контекст рассмотрения проблемы содержит критерии ее понимания и оценки в качестве мнимой или реальной. Универсальные понятия (материя, пространство, время, движение и т.п.) и принципы познания (причинность, целостность мира и т.д.) образуют своеобразный фильтр, благодаря которому происходит исключение тех или иных проблем из поля зрения науки. Например, в философии религии считается правомерной постановка вопроса о месте пребывания Бога. В естествознании такая проблема не имеет смысла, поскольку относится к области принципиально ненаблюдаемых, беспричинных явлений.

Постановка проблемы – результат не только напряженного логического анализа познавательной ситуации, она требует не малого творческого усилия. Способность увидеть противоречие, сформулировать проблему, А.Эйнштейн в частности, считал более существенным, чем ее решение. Неслучайно «нахождение проблем» связывается в истории науки и психологии с высшим показателем творчества.

Способы развития проблемы.

1) Выявление некоторого базового противоречия и его сужение через иерархию противоречий к жестко сформулированной антиномии,⁹ в которой явно представлены взаимно отрицающие тенденции или утверждения. Например, размеры объекта должны изменяться \Leftrightarrow размеры объекта не должны изменяться (релятивистские парадоксы); для микрообъекта можно указать точку локализации в пространстве и в то же время его невозможно локализовать (квантовые парадоксы).

2) Расчленение главной проблемы на аспекты или подпроблемы - систематизация проблемного поля, построение «дерева целей» (Д.Пойя). Методическое правило Р.Декарта: делить каждое из затруднений (проблем) на столько частей, сколько это возможно и нужно для его преодоления.

3) Формулирование задачи. Если проблемная ситуация – это скрытый вопрос, а проблема – поле, обозначенное вопросами, требующими решения, то

⁹ Антиномия (с греч. – противоречие в законе) – неразрешимое противоречие между двумя суждениями в двузначной логике, если оба суждения одинаково доказуемы. Филос. энциклопедия. М.1960. Т.1. С.73.

задача – это словесная формулировка, в которой выражены условия («Дано: ...») и требования («Найти: ...»). Переход от проблемной ситуации к задаче связан с выделением одного противоречия, например, вес \Leftrightarrow прочность. Поэтому сформулированная задача характеризует познавательную ситуацию с достаточными средствами решения, в отличие от проблемы, фиксирующей ситуацию с недостаточностью этих средств.

4) Построение модели задачи, в которой суть задачи выражена предельно упрощенно. В результате ограничивается поле возможных решений. В системе ТРИЗ¹⁰ построение модели задачи опирается на *всепольный анализ*, благодаря которому проблемное поле предстает в терминах: вещество, поле, действие. Выделяются три типа противоречий:¹¹

I. *Административные (организационные) противоречия*, которые констатируют факт возникновения проблемной ситуации: что-то необходимо сделать, как сделать - неизвестно.

II. *Технические противоречия*, которые отражают конфликт между частями или свойствами системы. Выделение конфликтующих частей сужает поле поиска решения.

III. *Физические противоречия*, которые касаются фундаментальных закономерностей. В методике ТРИЗ логика перехода к физическому (более глубокому) противоречию предполагает выделение такой части системы (а в ней еще и некоторой зоны), к физическому состоянию которой предъявляются взаимно противоречивые требования. Например, данная часть должна быть подвижна (A), чтобы выполнить определенную функцию, и в то же время должна быть неподвижна (не-А), чтобы удовлетворить требованиям задачи. Переход к физическому противоречию - это переход к условной модели задачи. Сформулированное физическое противоречие – подсказка, стимулирующая поиск идеи решения в виде *идеального конечного результата*.

3.2 Методологические функции гипотезы в развитии знания

Ключевую роль в развитии научного знания играет процесс выдвижения конструктивных идей в виде предположений, их развитие и обоснование. Гипотеза представляет собой форму вероятного знания в виде утверждения, истинность которого не определена. Статус научной гипотезы обретает не

¹⁰ Теория решения изобретательских задач. Основатель – Г.С.Альтшуллер

¹¹ Альтшуллер Г.С. Найти идею. Новосибирск. 1986.

всякое предположение, а только достаточно обоснованное. Способ обоснования гипотезы может иметь форму доказательства или опровержения.

Развитие предположения имеет два этапа: 1) выдвижение предположения на основе аналогии, неполной индукции, экстраполяции; это предположение еще не гипотеза, а догадка, поскольку оно никак не обосновано; 2) выявление объясняющих возможностей выдвинутого предположения.¹² Предположение становится гипотезой, если позволяет объяснить все имеющиеся факты, так или иначе оказавшиеся в его предметной области. Примером может служить идея планетарной модели атома, которая из догадки превратилась в гипотезу лишь после того, как на ее основе удалось объяснить периодичность в построении системы химических элементов Д.И.Менделеева.

Функции гипотезы в развитии знания:

- *организация* → гипотеза определяет исходную позицию в анализе ситуации и целенаправленный поиск необходимой информации;
- *объяснение* → гипотеза сводит множество фактов, разнообразную информацию в однозначный контекст;
- *проектирование* → гипотеза формирует новый концепт в системе личностного знания;
- *запуск эвристического действия* → гипотеза формирует идеальные модели разрешения противоречия проблемной ситуации.

Эвристический поиск, начинаясь с некоторой исходной гипотезы, направлен к результату, который тоже выступает в виде гипотезы, разрешающей проблему. В зависимости от степени проработанности, предположение может иметь характер догадки, версии, рабочей или решающей гипотезы.

Догадка – первоначальное предположение о возможном принципе решения, ничем не подтвержденное, которое влияет на выбор исходной позиции и корректирует анализ проблемы. Часто принцип решения не просматривается, но другого способа начать, кроме построения гипотезы, не существует. Поэтому первоначальное предположение не претендует на открытие, а создается, чтобы запустить анализ проблемной ситуации в некотором контексте.

- *Рабочая гипотеза* - временное предположение, которое опирается на исходную концептуальную установку и организует целенаправленный поиск информации. Рабочая гипотеза играет служебную роль и также не претендует

¹² Ивлев Ю.В. Логика. Глава 9. «Формы развития знания». М. 1998.

на открытие принципа решения. Цель рабочей гипотезы – ориентация в проблемном поле, выявление новых связей фактов.

- *Версия* (versio – с лат. оборот) - рабочая гипотеза, дающая разные объяснения одних и тех же фактов. Версии позволяют вести исследование проблемы сразу по нескольким направлениям. Так, например, в современной науке организуются разработки конкурсных проектов, ведутся поиски причин заболевания раком, закономерностей термоядерных процессов, исследование демографической проблемы.

- *Решающая гипотеза* - это предположение, которое претендует на разрешение проблемы, объяснение ранее необъяснимых явлений. Такое предположение, признанное научным сообществом, обретает статус *научной гипотезы*. Признаки, выделяющие научную гипотезу из ряда предположений: 1) способность разрешить противоречие проблемной ситуации, 2) соответствие предшествующему знанию и имеющимся фактам, 3) принципиальная проверяемость, 4) наибольшая простота.

В системе научной коммуникации гипотеза выступает и формой развития знания, и формой непрямого межличностного взаимодействия (мыслекоммуникации).

Методологические функции гипотезы связаны с обобщением опыта, постулированием общих положений, ориентацией исследовательских программ, интерпретацией эмпирических данных, защитой и обоснованием самих выдвигаемых гипотез.

Обобщение опыта в гипотезе не только стягивает множество фактов в концепцию, но и расширяет смысловое значение наличных эмпирических данных с помощью обобщения, переноса свойств некоторых элементов на весь класс (на основе индукции, экстраполяции). Утверждение: «На всякое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила», - представляет собой подобного рода обобщение. Хороший пример гипотетического обобщения опыта дают эмпирические кривые, которые строятся не строго по точкам, полученным в эксперименте, а усреднено, показывая общую тенденцию в изменении и взаимосвязи параметров

Постулирование связано с формулированием и утверждением исходных общих положений, из которых делаются выводы. В этом случае гипотеза предстает как постулат теории или концепции. Утверждение Демокрита: «В мире нет ничего кроме атомов и пустоты», – пример постулата мировоззренческого уровня. Многие теории современной науки строятся в виде гипотетико-дедуктивной системы. Рассуждения в таких системах

опираются на иерархию гипотез, степень абстрактности и общности которых увеличивается по мере удаления от эмпирического базиса явлений. На вершине располагаются гипотезы, имеющие наиболее общий характер, обладающие наибольшей логической силой и убедительностью. Из них выводятся гипотезы более низкого уровня общности, сопоставимые с эмпирическими данными.

Исследовательские программы, определяющие характер теоретической и экспериментальной деятельности, всегда опираются на рабочую гипотезу. Например, предположение о том, что «электрически нейтральные элементарные частицы должны содержать уравновешенные противоположные заряды», дает целевую программу экспериментального поиска. Подобную программу содержит и утверждение: «Живые организмы можно синтезировать, воспроизведя физические условия планеты, имевшие место 2 млрд. лет назад».

Интерпретация эмпирических данных – одно из главных требований мыслекоммуникации в науке. Особую роль в этом случае играют образные представления: графические и модельные. В плане интерпретации любой графический рисунок, информационная, абстрактная математическая модель всегда имеют вероятностный характер и представляют собой гипотезы.

Захиста гипотез в соответствии с принципом преемственности, перед лицом новых опытных данных или противоречия с имеющимся знанием также осуществляется через выдвижение гипотез *ad hoc* (к данному случаю). Например, из истории науки известно, что гипотеза У.Гарвея о циркуляции крови в организме (кровообращении) противоречила опытным данным о различии артериальной и венозной крови по составу. Для ее защиты У.Гарвей выдвинул гипотезу о замкнутом артериальном цикле через невидимые тонкие сосуды – капилляры, которые позже были открыты. Защитные гипотезы очень привлекательны для ученого, отстаивающего свою концепцию, но в силу своей недостаточной обоснованности составляют очевидный объект для критики.

Чтобы гипотеза была признана научным сообществом и могла выполнять выделенные выше функции в развитии знания, она должна быть четко сформулирована. Условие наибольшего правдоподобия накладывает на формулировку определенные ограничения. Общими условиями ограничения могут быть: соответствие авторитету или традиции, простота, практичность. В системе науки главная цель – истина, адекватное отображение действительных процессов реальности. Поэтому формулировка гипотезы

должна быть выражена на принятом языке (естественном или формальном), в определенных терминах (понятийно, концептуально) и иметь правдоподобный смысл. Необходимость требования осмысленности формулировки в некотором научном контексте следует уже из того, что синтаксически правильные конструкции могут не нести никакого смысла вроде «абракадабра абракодирует».

Содержание гипотезы должно быть связано с предшествующим знанием или хотя бы ему не противоречить в случае полной оригинальности. Это требование делает выдвигаемую гипотезу частично обоснованной в силу истинности предшествующего знания. Главное требование связано с принципиальной возможностью эмпирической проверки гипотезы.

Обоснованность гипотезы - необходимое условие ее приемлемости в качестве имеющего смысл научного утверждения. Отсутствие обоснования дискредитирует гипотезу настолько, что она не может быть предметом дальнейшего обсуждения в научном сообществе.

Критерии обоснованности гипотез

1. Критерий *соответствия гипотезы научному знанию* выполняет роль своеобразной неэмпирической проверки гипотезы на внутреннюю непротиворечивость, фактуальное содержание и возможность эмпирической проверки. Совместимость гипотезы с другими теориями, принятыми в обществе придает ей логическую силу и концептуальность. Жизнь науки неотделима от духа времени, который содержит мировоззренческие идеи и нормы, влияющие на отбор и способ решения проблем. Обращаясь к интеллектуальному климату того или иного времени, можно объяснить, почему некоторые гипотезы представлялись совершенно естественными, несмотря на их ложность, а другие, будучи истинными, отвергались.¹³

¹³ Пример: В 1847г. венский врач Земмельвейс предположил, что причина высокой смертности новорожденных – «группное вещество», которое медперсонал незаметно для себя переносит из анатомического отдела в родильное. Он отдал распоряжение о непременной дезинфекции при переходе из одного помещения в другое. Смертность в результате снизилась с 12% до 1%. Такого рода данных достаточно для эмпирического подтверждения гипотезы. Однако ему не поверили и даже объявили его сумасшедшим. Почему? Гипотеза Земмельвейса противоречила принятой в то время теории происхождения болезней вследствие внутренних причин (Теория эндогенных факторов). Эта общая теоретическая установка на исследование анатомии и физиологии человека развивалась в противовес ссылкам на вредные испарения или ненаблюдаемые мистические вирусы и оказалась чрезвычайно плодотворной. Конкурирующая теория экзогенных факторов (вирусная теория заболевания) возникла еще в древности. В античные времена ею объясняли малярию и туберкулез, в XVII–XVIII вв. – чуму. В XIX в. вирусная теория была дискредитирована по двум причинам: 1) из-за непроверяемости, так как вирус не смогли выделить никаким способом, 2) из-за установки на смирение перед силами природы, что противоречило духу времени, выраженному в максиме «Человек – господин природы». Кроме того, Земмельвейс не мог объяснить механизма переноса заболевания. Этот механизм был открыт гораздо позже Луи Пастером и его учениками, показавшими, что микробы, попадая в человеческий организм, плодятся чрезвычайно быстро. Таким образом, гипотеза Земмельвейса из-за противоречия с распространенной и признанной теорией не была принята в свое время до тех пор, пока не появилась более

Таким образом, критерий обоснованности гипотез, связанный с отношением к наличному знанию носит двойственный характер: а) предохраняет от безумных идей, обеспечивая преемственность в развитии знания, б) тормозит развитие науки.

2. Критерий *соответствия гипотезы эмпирическим данным* тоже имеет двойственное значение. С одной стороны, он фиксирует необходимое условие истинности выдвигаемого положения. Однако, опираясь на него, можно оправдать определенно ложные гипотезы. Например, если верить только показаниям органов чувств, вполне оправдана гипотеза о неподвижности Земли и вращении Солнца вокруг Земли.

Учитывая два критерия обоснованности, выделяют следующие уровни разработанности гипотез.

Необоснованные гипотезы - догадки, не связанные с предшествующим знанием и опытом. У гипотез этого уровня имеется только интуитивная связь с опытом и системой знаний. Примером могут служить гипотезы фантастического характера вроде предположения, что Тунгусский метеорит не что иное, как взорвавшийся инопланетный корабль.

Эмпирически обоснованные гипотезы – предположения, связанные не с теорией, а с эмпирическими данными. В таких гипотезах формулируется общность в наблюдаемых процессах или делается заключение о характере будущего опыта по аналогии. Если в дисциплине доминируют эмпирические гипотезы, ее квалифицируют как эмпирическую науку в узком смысле слова (по объекту исследования и по способу обоснования).

Теоретически обоснованные гипотезы - предположения, не прошедшие эмпирической проверки, выделенные из наличного знания и направляющие будущий эксперимент. Пример: гипотеза У.Гарвея о замкнутом контуре кровообращения через невидимые капилляры, гипотеза гелиоцентрической системы мира в XVI-XVII вв. (экспериментально подтверждена в середине XVIII в.)

Полно обоснованные гипотезы – предположения, согласованные не только с наличным знанием, но и с опытными данными. Преобладание таких гипотез характерно для теоретического естествознания. Среди гипотез этого уровня выделяют:

- *законы* (по признаку общности и системности);

обоснованная теория болезнестворных вирусов. Карпович В.Н. Проблема, гипотеза, закон. Новосибирск.1980. С.57-120.

— *принципы*, которые служат в качестве исходных допущений: например, принцип относительности, принцип инерции (в классической механике), принцип относительности одновременности и принцип постоянства скорости света (в теории относительности).

3.3 Методы обоснования гипотез

Практика обоснования гипотез неизбежно связана с вопросом о критерии истины. В системе науки истина понимается как соответствие содержания человеческого знания объективным процессам действительности. Главный критерий истины — развитие общественно-исторической практики. В этом смысле время все расставляет по своим местам. Однако в каждом конкретном исследовании критерий истины дан вполне однозначно в виде соответствия высказываемых утверждений эмпирическим данным. Поэтому необходимым, но недостаточным условием обоснованности гипотезы является ее непосредственное эмпирическое подтверждение или возможность ее проверки на соответствие наблюдаемым явлениям.

Процесс обоснования гипотез в системе научной коммуникации разворачивается в формах фактического и логического обоснования.

Принцип эмпирической проверяемости гипотез лежит в основании способов *фактического обоснования*. Требование фактического подтверждения гипотез конкретизировано в принципе верификации и противоположном ему принципе фальсификации. Однако далеко не всегда эти принципы применимы. В науке большинство утверждений имеет универсальный (не протокольный) характер. Процедура фактического обоснования для них неэффективна. Например, невозможно таким способом проверить закон всемирного тяготения, который утверждает, что *все* тела взаимно притягиваются друг к другу пропорционально своей массе и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними, а также утверждение, что на *все* тела, погруженные в воду, действует выталкивающая сила. Утверждения не универсального характера также далеко не всегда поддаются эмпирической проверке. Примером может служить утверждение о том, что Земля вращается вокруг Солнца. Поэтому в системе научной коммуникации движение идей, развитие знания опирается на принципы логического обоснования и теорию аргументации.

Методы фактического обоснования гипотезы

Материальный эксперимент - форма практической деятельности по созданию специфической ситуации с целью эмпирического обнаружения следствий теоретических утверждений. Материальный (реальный) эксперимент всегда ограничен техническими, а также социально-историческими рамками. Материальный эксперимент позволяет проверить гипотезу в данный момент, в актуальном времени и в конечном фрагменте действительности. Он всегда определен научной картиной мира, конкретной теорией, исторически сложившимся принципом действия, методом, инструментарием.

Экспериментальное подтверждение отдельных следствий предположения и случаи его практического использования еще не делают гипотезу достоверным знанием. Только при большом числе подтверждений, успешном практическом применении гипотезы, при установлении определенных связей между следствиями происходит признание научного статуса гипотезы как обоснованного положения.

Многократность подтверждений и применений следствий, уточнение существенных моментов переводят гипотезу с течением времени в статус *теории - системы истинных, обоснованных и проверяемых на практике утверждений*.

Моделирование - способ проверки гипотез, в основе которого лежат умозрительные операции: идеализация и умозаключение по аналогии, позволяющие с той или иной долей вероятности перенести информацию о свойствах модели на исследуемый объект. Модели могут быть материальными (в виде макета, куклы), идеальными (иконическими или символыми, в том числе математическими, формально-логическими), компьютерными.

Идеальные модели – результат абстрагирования и обобщения. Например, изображение круга – идеал, который существует только в мыслях, отвлечено от пространственных форм, встречающихся в действительности. Идеализация – способ создания обобщенных моделей, не существующих в действительности, но позволяющих изучать и описывать закономерности реальных процессов. Теоретическое знание строится на идеализации, которая играет объясняющую и конструктивную роль в развитии познаний. Невозможно представить геометрию без таких идеализированных объектов, как точка, прямая, плоскость; физику – без абсолютно твердого и абсолютно черного тела, идеального газа, абсолютного нуля температуры и т.д.

Иконические (образные) модели обладают большой информационной емкостью. В схеме, рисунке, графике информация сжата и наглядно представлена, что обеспечивает быстрое схватывание смысла. Словесная передача этой информации более сложна.

Функции модели в проверке гипотез.

1) Воспроизведение реальных объектов или закономерностей (модели настоящего). В этом случае модели выступают заместителями исследуемого объекта. Например, макет корабля.

2) Реконструкция объекта или закономерности (модели прошлого). В этом случае необходимо: а) наличие определенного ограниченного числа элементов, позволяющих восстановить объект, б) знание закономерностей его развития. Модель сопоставляется с последующими находками, которые являются ее следствиями. Например, выдающийся естествоиспытатель Кювье сформулировал принцип функциональной корреляции органов и разработал метод восстановления ископаемых биологических видов по сохранившимся фрагментам скелета.

3) Прогнозирование объекта или закономерности (модели вероятного будущего). Будущий объект всегда создается в виде идеи, зафиксированной в чертежах, схемах, описаниях, то есть в виде идеальной модели, на основе которой создается материальная модель, и проводятся ее испытания. Идеальная модель – основание и для мысленного эксперимента, в ходе которого выдвигаются и проверяются различные гипотезы.

Практика логического обоснования гипотез представлена формами и способами *аргументации*, под которой понимается полное или частичное подтверждение истинности какого-либо утверждения с помощью других утверждений. Положение, которое нужно обосновать, называется *тезисом*. Исходные теоретические или фактические положения, с помощью которых обосновывается тезис, называют *аргументами*. В качестве аргументов в практике научного обоснования выступают законы природы, а также общие нормы; аксиомы; утверждения о фактах. Последняя группа представляет собой частные аргументы. Логическую связь между аргументами и тезисом называют *демонстрацией* (от латинского слова *demonstratio* - показывание).

Тезис, аргументы, демонстрация образуют логическую структуру аргументации, которая далеко не всегда представлена явно в речевом общении (устном и письменном). Скрытые аргументы, которые подразумеваются (как само собой разумеющееся), можно восстановить в процессе анализа аргументации. Текст или речь, реализующая некоторое рассуждение, может

быть представлена в виде аргументационной конструкции, представляющей его логическую основу, не совпадающую с исходным языковым выражением.

Доказательство можно определить как установление истинности какого-либо положения с помощью логических средств и утверждений, истинность которых уже установлена. Формой доказательства является *демонстративное рассуждение*, обеспечивающее получение истинного заключения при истинных посылках. К демонстративным рассуждениям относят правильные формы дедуктивных умозаключений, полную и научную индукцию, строгую аналогию.

Аргументация недоказательна:

- когда все или некоторые аргументы являются не достоверными утверждениями, даже если формой аргументации выступает демонстративное рассуждение; тезис в такой аргументации только вероятен из-за недостоверности аргументов;
- когда аргументы - достоверные утверждения, но форма аргументации - не демонстративное рассуждение; в этом случае тезис вероятен из-за формы аргументации;
- когда аргументы представляют собой не полностью обоснованные утверждения и формой является недемонстративное рассуждение.

Процесс подтверждения истинности тезиса может принимать форму различных интеллектуальных демонстраций в виде:

- 1) дедуктивного умозаключения (вывода - от общего к частному),
- 2) индуктивного умозаключения (обобщения фактов); нужно иметь в виду, что в случае неполной индукции тезис обосновывается только более-менее вероятно, поэтому необходима дополнительная аргументация;
- 3) умозаключения по аналогии (на основании сходства имеющихся признаков); нужно иметь в виду, что в случае нестрогой аналогии для доказательства тезиса необходима дополнительная аргументация.

По способу обоснования различают *прямую* и *косвенную* аргументацию. В первом случае тезис обосновывается непосредственно аргументами. В случае прямого доказательства тезис выводится из аргументов по правилам логики. В косвенной аргументации истинность тезиса обосновывается с помощью противоречащего тезису допущения - *антитезиса*. Главный метод косвенной аргументации *сведение к абсурду*. Из имеющихся аргументов и антитезиса выводят противоречие - конъюнкцию некоторого утверждения и отрицания этого утверждения. На основании закона противоречия, запрещающего

подобную ситуацию, отвергается антитезис и делается вывод о частичной или полной обоснованности тезиса.

Логическое обоснование гипотез в зависимости от характера исходных положений можно разделить:

1) на рассуждения, которые опираются на гипотезы или эмпирические обобщения, истинность которых еще надо установить;

2) на рассуждения, которые опираются на посылки заведомо ложные или ложность которых может быть установлена.

В последнем случае, выведение следствия, противоречащего хорошо известным фактам или истинным утверждениям, позволяет скорректировать исходные позиции исследования. Сведение к абсурду - наиболее распространенный способ опровержения, который дополняется проверкой следствий опытным путем.

Гипотетико-дедуктивный метод в логической проверке предположений позволяет выбрать одну из конкурирующих гипотез посредством опровержения другой. В данном случае несущественно, как образованы гипотезы, из которых выводятся логические следствия, они могут быть произвольными утверждениями, гениальными догадками, обоснованными предположениями. Важно, что в результате применения метода введенное допущение проверяется в решающем эксперименте и принимается или отвергается.

Гипотетико-дедуктивный метод опирается на два ключевых правила:

- выведение следствий из предположения (дедукция),
- соотнесение этих следствий с фактами в решающем эксперименте.

Решающий эксперимент представляет собой действие или опыт, который специально планируется для фактической проверки утверждений, сформулированных на основании принятой гипотезы. Такого рода эксперименты не позволяет полностью обосновать гипотезу, но может опровергнуть другую, конкурирующую.

Пример. Две гипотезы о природе света: Γ_1 (Ньютон) \rightarrow свет имеет корпускулярную структуру; Γ_2 (Гюйгенс) \rightarrow свет имеет волновую структуру (природу).

Следствие из $\Gamma_1 \rightarrow A_1$: скорость света в воздухе меньше скорости света в воде; $v_{\text{св. возд.}} < v_{\text{св. воде}}$.

Факт – наблюдается преломление света на границе сред.

Следствие из $\Gamma_2 \rightarrow A_2$: скорость света в воздухе больше скорости света в воде; $v_{\text{св. возд.}} > v_{\text{св. воде}}$.

Факт – наблюдается преломление света на границе сред.

Утверждение A_1 противоречит утверждению A_2

Эксперимент Фуко решил спор в пользу волновой теории света.

Мысленный эксперимент как способ проверки гипотез – это не ограниченное реальными условиями и временем интеллектуальное действие с идеальной моделью. Условия, отличающие мысленный эксперимент от фантазирования, предполагают:

- 1) соответствие модели объекту исследования (модель должна представлять собой «квазиобъект»);
- 2) необходимость смоделированных условий существования объекта, включая мысленные орудия, инструменты воздействия, материалы;
- 3) действие с моделью, которое опирается на планомерное изменение принятых условий и вероятных воздействий;
- 4) необходимость соотнесения изменений модели с объективными законами, установленными в науке.

Роль мысленного эксперимента в познании впервые выделил Галилей. Один из первых мысленных экспериментов в изучении природы: проверка принципа инерции. Гипотеза Галилея: при отсутствии действующих сил или их равновесии тело движется равномерно и прямолинейно, - противоречила принципу естественного движения Аристотеля, согласно которому тело в таких условиях покойится. Обоснованием служила модель движущегося тела и мысленный эксперимент, поскольку в реальных условиях ничем не ограниченное движение по инерции не наблюдается.

Исход мысленного эксперимента зависит от интеллектуальных особенностей исследователя. Общезначимый критерий в данном случае всегда представлен приемами мышления и знанием законов изменения вещей.

Практика конструктивного обоснования в современной науке представлена способами проверки математических гипотез и математизированных теорий.¹⁴ В конструктивном обосновании следствия уравнений сопоставляются с опытом и физической интерпретацией величин, которые фигурируют в математических уравнениях. Опытная проверка математической гипотезы, таким образом, заключается в проверке семантической системы: уравнения плюс интерпретация.

В современной теоретической науке (в частности, физике) выдвижение гипотезы осуществляется методом математической экстраполяции, предполагающим перестройку (распространение) известных уравнений в новых допущениях (которые меняют операциональную схему измерения физических величин). В результате экстраполяции физические величины

¹⁴ Степин В.С. Философия науки. Общие проблемы: Учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук. – М.: Гардарики, 2006

получают новые связи и новые определения. Далее вводятся соответствующие новым определениям абстрактные объекты, из которых формируется теоретическая гипотеза.

Требования к процедуре конструктивного обоснования теоретической модели: 1) согласованность с математическим аппаратом; 2) конструктивное введение абстрактных объектов; 3) идеализированный эксперимент (компьютерный, вычислительный) с абстрактными объектами, учитывающий особенности реальных измерений и экспериментов; 3) необходимость промежуточных (физических) интерпретаций вводимых величин и абстрактных объектов. Проблемы конструктивного обоснования связаны с неадекватной интерпретацией создаваемого аппарата, которая усложняет эмпириическую проверку.

4. Методология научного творчества - потенциал эвристики

Под методологией научного творчества в современной литературе понимают стратегию научного поиска, имеющую определенные общезначимые параметры и условия. В исторической традиции наука о творческой деятельности - **эвристика** (с греч. - отыскиваю, открываю) формируется в виде суммы методов и приемов оптимизации индивидуального творчества.

Первоначально эвристика возникла в Древней Греции в виде метода обучения, в котором посредством наводящих вопросов учителя ученик приходил к правильному ответу. Искусство наведения на противоречие или открытие, новое решение Сократ (469-399 гг. до н.э.) называл майевтикой (повивальным искусством). Спустя два века, Архимед (287-212 гг. до н.э.) создал учение о методах рассмотрения и решения задач, выдвижения и обоснования гипотез с помощью упрощенных представлений (по современному, моделей). В труде «Стомахион» он описал способы создания новых технических объектов из известных элементов. Происхождение термина «Эврика!» («Нашел!») тоже связано с легендой об Архимеде. В III в. н.э. Папп Александрийский, обобщив труды античных математиков, в частности способы работы Евклида в поиске доказательств, обозначил методы, отличные от чисто логических, словом «эвристика».

В Новое время первую попытку описать логику изобретения сделал Г.В.Лейбниц (1646-1716 гг.). Путь достижения цели он видел в расчленении понятий на элементарные ячейки – азбуку мысли, и последующее комбинирование. Его современник Х.Вольф (1679-1754гг.) предложил ряд

правил искусства изобретательства, а чешский математик Б.Больцано (1781-1848гг.) создал фундаментальный труд «Наукоучение», где в разделе «Искусство изобретательства» изложил различные методы и эвристические правила. В России в начале XX в. у истоков теории творчества стоял инженер-патентовед П.К.Энгельмейер.

В настоящее время с понятием «эвристика» связывается и момент открытия, внезапного озарения (инсайт) и методы, направляющие и сокращающие поиск решения. В современной литературе слово «эвристический» указывает на поисковый характер деятельности в отличие от действий по алгоритму или стереотипу. В области машинных программ эвристика обозначает метод, в основе которого лежат формулировка возможных вариантов решения (условий, гипотез) и правила, оценивающие их результативность с точки зрения наискорейшего достижения цели. Эвристики, построенные на правдоподобных рассуждениях, - программная основа экспертных систем в области интеллектуальных технологий.

В современной системе знания предмет эвристики - поисковая деятельность как человека, так и технического устройства, в обобщенном варианте – деятельность системы, способной осуществлять творческий поиск. Основная методологическая задача эвристики – построение моделей процесса поиска нового для субъекта (или общества в целом) решения проблемы.¹⁵ Наиболее интенсивно задача поиска общей структуры и алгоритмов эвристического поиска разрабатывается в области проблем искусственного интеллекта, где сформированы модели слепого поиска, лабиринтная и структурно-семантическая модели эвристической деятельности.¹⁶

Методы активизации поиска решения – процедуры, помогающие найти варианты возможного решения. В древности такими методами служили, опора на совет старейшин, которая помогала актуализировать индивидуальный и общественный опыт, подобрать аналогию («как уже было»); опора на совет шамана (астролога, гадалки), указывающий путь; опора на внутренние духовные силы (опыт медитации в традициях Востока).

Самый старый стихийно сложившийся метод – перебор вариантов, или метод проб и ошибок. Опыт и знания исследователя позволяют избежать нелепых идей, однако процедура перебора всех возможных вариантов малоэффективна даже для решения простых задач. Его противоположностью

¹⁵ Эвристика // Философская энциклопедия. Т.5.С.532-533.

¹⁶ Компьютер обретает разум. Пер с англ. М. 1990. С.7-95; Саймон Г. Наука об искусственном. М. 1972.

выступает случайное открытие. Химический способ очистки тканей был открыт в тот момент, когда Мариле вынул из бочки со скипидаром случайно упавший туда костюм и обнаружил, что на нем нет пятен. Однако на случай наталкиваются те, кто его заслуживает (Лагранж) или те, кто все делает для того, чтобы на него натолкнуться (Пастер). Поиск на основе проб и ошибок помог человеку создать мир техники. Но метод, служивший человечеству 1000 лет, исчерпал себя уже к концу XIX в. Темпы развития науки и техники в XX в., лавинные потоки информации создали глубокое противоречие между технологией творчества, основанной на методе проб и ошибок, и требованиями технического прогресса. Переход к более эффективным методам творческой деятельности на ранних этапах имел целью усовершенствовать метод проб и ошибок.¹⁷

1) *Метод контрольных вопросов*, систематизируя проблемное поле, ориентирован на подсказку, играющую эвристическую роль в поиске решения. С 20-х гг. XXв. различные авторы предлагали списки контрольных вопросов. Наиболее известен список А.Особорна, содержащий 9 групп вопросов.

1. Какое новое применение объекту можно предложить?
2. Можно ли объект упростить?
3. Какие возможны модификации объекта?
4. Что можно уменьшить в объекте?
5. Что можно увеличить в объекте?
6. Что можно заменить?
7. Что можно преобразовать?
8. Что можно перевернуть наоборот?
9. Какие возможны комбинации между элементами объекта?

2) *Метод морфологического анализа* был предложен швейцарским физиком Ф.Цвикки в 30 гг. XX в. и применен им во время работы в США над двигателями ракет. Цель: охватить все возможные варианты решений, вытекающих из закономерностей строения исследуемого объекта, выйти в новые зоны поиска, далекие от очевидных. Последовательность операций метода:

1. Сформулировать проблему.
2. Составить перечень основных характеристик объекта.
3. Перечислить все возможные изменения каждой характеристики.
4. Комбинируя все возможные сочетания характеристик, рассмотреть варианты решения.
5. Проанализировать наиболее приемлемые варианты.
6. Отобрать лучшие с точки зрения реализуемости.

Множество возможных сочетаний характеристик наглядно представляется в морфологической двумерной таблице (например: форма –

¹⁷ Пигоров Г.С., Таран Ю.Н., Белопольский Б.П. Интенсификация инженерного творчества. М. 1989, Абовский Н.П. Творчество: системный подход, законы развития, принятие решений. М.1998.

емкость) или в виде многомерных матриц. Это более эффективно, чем бессистемный поиск. Но главная трудность метода состоит в анализе множества сочетаний, которое может стремиться к бесконечности. Метод морфологического анализа, расширяя поле поиска, не дает универсального способа оценки вариантов сочетаний параметров.

3) *Метод универсальных таблиц (фантомограмм)*, предложенный, Г.С.Альтшуллером,¹⁸ представляет собой усовершенствование метода морфологического анализа.

Пример универсальной таблицы.

Универсальные характеристики	Возможные способы изменения универсальных характеристик				
	Уменьшить	Увеличить	Объединить	Разъединить	Ускорить
Цель, назначение,					
Направленность развития					
Способы передвижения					
Вид энергии					

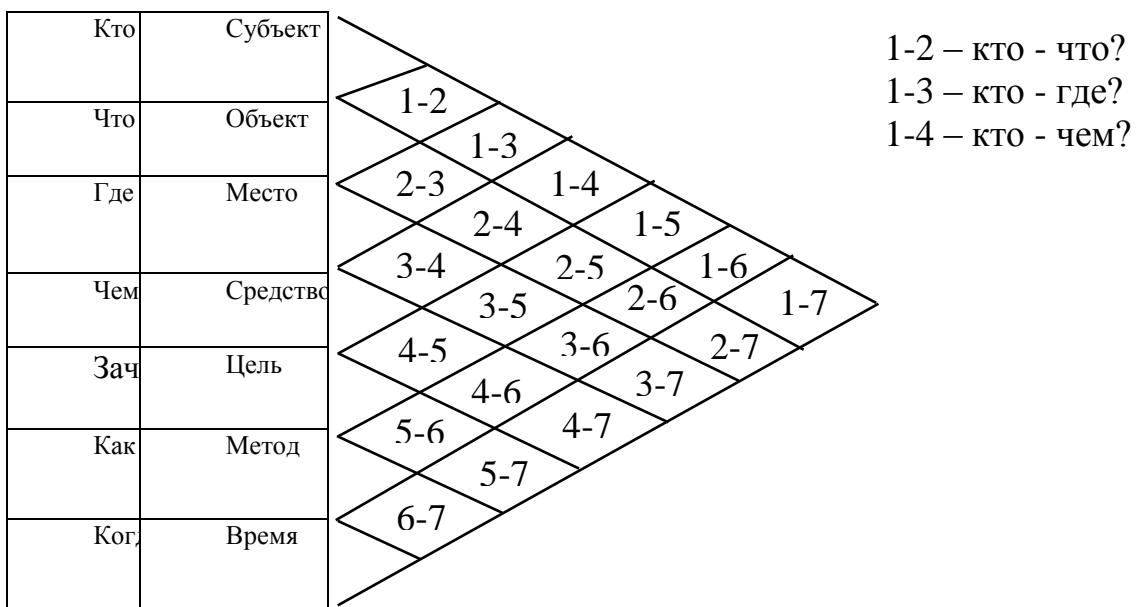
Универсальная таблица не стремится к бесконечности, поскольку исследователь обычно выбирает лишь некоторые универсальные характеристики и способы их изменения. 60-70% сочетаний такой таблицы имеют определенный практический смысл.

Применение матриц для поиска идей – один из наиболее эффективных приемов систематической эвристики. При умелом подходе с помощью матриц удается перекрыть все поле возможных решений.

4) *Матрица идей Г.Буша* представляет собой метод анализа проблемной ситуации и определения поля поиска. Основная операция – построение матрицы двусторонних отношений. Еще в I в. до н.э. римский ритор Квинтилиан определил семь ключевых вопросов, ответ на которые дают полную информацию о событии: кто? – что? – где? – чем? – зачем? – как? – когда? При дефиците информации, характерном для проблемной ситуации, наибольшую информацию и эвристическую подсказку можно извлечь из комбинирования прямых вопросов.

¹⁸ Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. М.1973.

Матрица двусторонних отношений



1-4 (кто - чем?) → кто и какие средства использует для решения данной задачи.

2-3 (что - где?) → какой объект и где должен быть создан.

6-7 (как - когда?) → каким методом и когда целесообразно решать задачу.

Ответы на комбинированные вопросы служат для постановки и классификации задач исследования.¹⁹

Анализ проблемной ситуации имеет такую последовательность:

- составляется перечень факторов, относящихся к проблемной ситуации,
- факторы классифицируются по одному или нескольким признакам,
- факторы ранжируются по важности в конкретных условиях,
- строится матрица двустороннего взаимодействия факторов и тщательно анализируется.

5) *Системное моделирование задач*. По критерию неполноты информации задачу можно представить в виде системы из трех элементов: начального состояния (входа), конечного (выхода) и процесса движения от начального к конечному состоянию. Получаем модель задачи «черный ящик», в которой известны входные или выходные данные. Внутреннее устройство системы неизвестно, но доступны исследованию ее функциональные характеристики.

¹⁹ Буш Г. Рождение изобретательских идей. Рига. 1976. С.78-89.

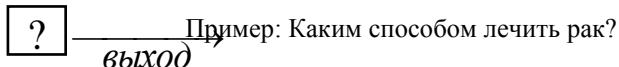
Типы задач, определенные моделью «Черный ящик».

Какие причины порождают следствие? Что может служить сигналом?



Выяснения сущности по следствиям. Какие процессы связаны со следствиями?

III.



Как использовать нечто не совсем известное?

Как использовать Голодную степь?



Как использовать шлак ?

Описанные методы ориентированы на систематизацию исходной информации и поля поиска. Свойства интеллекта и психики человека в них остаются за рамками, прямо не учитываются.

Психологические методы активизации творчества

a) *Ассоциативный метод* опирается на свойство мозга устанавливать связи между значениями и смыслами, запоминать, восстанавливать эти связи. С точки зрения эвристической технологии наибольший интерес представляют далекие ассоциации, приводящие к оригинальной идеи решения. Например, цепочка ассоциаций со словом «вокзал»: вагон, электровоз, поездка к морю, волны, пена, свойства пены, биологическая активность, *поверхностная пленка*. Генерирование свободных ассоциаций в той или иной мере использует большинство практических методик поиска решения в технике. Советский изобретатель Г.Буш предложил алгоритм стратегии поиска в виде гирлянд ассоциаций.²⁰

b) *Аналогии* – прием, который применяется сознательно, чтобы вызвать ассоциации.

v) *Мозговой штурм* предложен А.Осборном в 30-40 гг. (США) с целью получить как можно больше предложений по решаемой проблеме за короткий срок. Для этого формируются две независимые группы: «генераторы идей», «эксперты». Первая группа (6-15 чел.) работает в течение 30-50 минут в режиме запрета на критику любого высказанного предложения. Единственное требование к высказываемому – краткость. Удается набрать до 150 идей, из

²⁰ Буш Г. Рождение изобретательских идей. Рига. 1976. С.90-99.

которых 10-15% не лишены смысла. Группа экспертов рассматривает и отбирает предложенные идеи решения проблемы.

Процесс коллективного мозгового штурма, возбуждая умственную деятельность, способствует рождению идей и после заседания. Последействие оказывается иногда более эффективным в плане творческих находок: идеи, высказанные в последующие дни содержательно более ценные.

г) *Синектика* (с греч. – объединение разнородных элементов) – развитие метода мозгового штурма, предложенное В.Дж.Гордоном в 50 г. и усовершенствованное Д.М.Принсом (США). В этом случае поиск ведет специально подобранная группа синекторов, имеющих разные специальности. При этом используется арсенал аналогий и разрешается критика вносимых предложений. Для работы в группе предусматривается предварительное обучение по запатентованной методике. Главный элемент в синектике – программа поиска, которая реализуется в ходе заседаний. Программа включает:

- уяснение задачи, как она предложена заказчиком;
- формулирование проблемы («как она дана»);
- анализ и уточнение проблемы, формулировка «как она понимается»;
- генерирование идей, активизация с помощью аналогий: прямой, личностной (вживание в образ, эмпатия), символической (краткое описание, метафора), фантастической (описание задачи в иносказательных, сказочных терминах);
- увязывание идеи с проблемой, как она дана и как она представляется, - основа поиска решения; наиболее ценную идею максимально развивают и конкретизируют.

Синектические заседания делятся несколько часов. Остальное время синекторы заняты анализом полученной информации, консультациями со специалистами, проверкой версий решения. Большое внимание уделяется многократному прослушиванию записей заседаний. Таким образом, в синектике реализуется методический прием – концентрация поисковой деятельности на проблеме в течение длительного времени.

д) Комбинацией представленных выше методов являются:

- *метод коллективного блокнота* (в течение определенного времени каждый член исследовательской группы заносит свои соображения в блокнот, руководитель обобщает идеи, результаты обсуждаются в группе);
- *метод каталога* (берется произвольное слово из книги, каталога, с которым связывается объект исследования);

- *метод музеиного эксперимента (развитие синектики)*. – посещение музея истории техники и письменная реконструкция возможного хода мысли древнего изобретателя в терминах его времени. Метод опирается на цикличность прогресса техники: однажды найденное решение входит в золотой фонд технического творчества, к которому человек периодически возвращается на новом уровне. Изучение исторических памятников способствует активизации поиска. Особый интерес представляют не получившие широкого внедрения идеи. Не мало изобретений в истории науки и техники сделано на основе древних технических решений. Например, громоотвод (Франклайн) был известен в Древнем Египте.

6) *Метод эргономизации* представления знания опирается на учет работы когнитивной системы «глаз-мозг». Эта система способна работать в двух режимах: симультанном (быстрый панорамный прием информации с помощью периферического зрения) и сукцессивном (медленный прием информации на основе центрального зрения). При симультанном восприятии «глаз-мозг» обладает способностью практически мгновенно воспринимать огромные объемы зрительной информации (зрительной сцены). При восприятии словесного текста система работает в медленном режиме, при восприятии изображений – в быстром. Замена текста эквивалентным по смыслу чертежом, переход от текстовой формы информации к визуальной, обеспечивают более высокую продуктивность мозга за счет увеличения скорости его работы в симультанном режиме.

Метод заключается в переходе к *диоинформации*, в которой любая информация представлена в определенной форме зрительной сцены. ДИО означает: Двумерная, Информативная, Оптическая.²¹

$$\boxed{\text{Диоинформация}} = \boxed{\text{Словесный текст}} + \boxed{\text{Формулаа}} + \boxed{\text{Изображение}}$$

7) *Гипнотический метод* (суггестопедия, нейролингвистическое программирование). В гипнотическом состоянии человеку внушается, что он другая, известная ему личность, и с помощью определенных приемов формируется направленное активное состояние психики (доминанта). Результаты закрепляются в состоянии бодрствования. Развитие этого метода заключается в объединении психической энергии и творческой активности

²¹ Паронджанов В.Д. Как улучшить работу ума. М. 1999.

группы в единое целое, которое само обладает способностью гипноза и другими уникальными чертами вроде ясновидения.²²

8) *Интенсивные эвристические методы* ориентированы на идеальный конечный результат, способный разрешить противоречие проблемной ситуации. Основной опорой при этом служат законы развития технических систем. В отличие от представленных выше методов, расширяющих поле возможных решений, система методов выявления и разрешения технических противоречий Теории Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ) направляет человека на поиск одного или нескольких сильных решений. Принципиальное отличие ТРИЗ состоит не в формализации отдельных эвристических приемов, а в создании метода (алгоритма) получения изобретательских идей, создании принципов, применение которых приводит к ряду оригинальных технических решений.

Проблема самоорганизации чрезвычайно важна в технологии творчества. Напряжение физических и духовных сил, необходимое для плодотворной деятельности, создает изнуряющие организм нагрузки. Однако здоровье, физическое и психическое равновесие – необходимое условие продуктивной работы. Универсальных правил разрешения этой проблемы нет, все зависит от индивидуальных качеств человека. Поэтому творческому работнику нужно знать себя и уметь собою управлять.

Приемы самоорганизации можно разделить на три группы:

<i>Организация мышления</i>	<i>Организация времени</i>	<i>Мобилизация сил</i>
1. Овладение методами другими эвристическими методами оптимизации мышления. 2. Развитие вообще визуального, икона мышления 3. Овладение языком ситуации (диалектика, математика, ТРИЗ, для экспертизы системы)	1. Учет своего рабочего хронометража основных операций 2. Гибкое планирование перенос действий, совмещение свободного времени для раскрытия проблемного знания. 3. Прессинг – использование свободного времени для раскрытия проблемного знания. 4. Экономия – сокращение времени на восприятие информации, освоение сокращения	1. Двигательная активность 2. Формирование устойчивого психического равновесия в ситуациях: - настрой («улыбка»), - аутотренинг, - саморегуляция (оригинальные методики, технические средства снятия нервного перенапряжения) приемы релаксации, дыхательные упражнения)

²² Кандыба В.М. Сверхвозможности человека. СПб. 1996.

Система методов ТРИЗ



Важным инструментом самоорганизации является оценка полученного результата, которую дает сам исследователь и научное сообщество. В этом плане важно избегать возможных ошибок.²³



²³ Пигоров Г.С., Таран Ю.Н., Белопольский Б.П. Интенсификация инженерного творчества. М.1989.С.104-108.

Психологические барьеры - трудно поддающиеся контролю и медленно меняющиеся факторы творческого процесса, связанные с потенциальными способностями человека. В психологии творчества способности делятся на три группы: 1) связанные с личной мотивацией (интересы, склонности), 2) связанные с темпераментом (эмоциональные), 3) собственно умственные способности:

- способность увидеть непривычное в привычном и наоборот известное в новом, специфическая зоркость в поисках свежего взгляда на проблему;
- способность к свертыванию информации (замена нескольких понятий обобщающим, сворачивание цепи рассуждений в одну мысленную операцию) и цельности восприятия (умение выделять сходные образы, опуская индивидуальные отличия);
- гибкость мышления – способность мысленного перехода к явлениям и понятиям далеким по содержанию;
- боковое мышление – способность к широко распределенному вниманию и «около проблемному» мышлению;
- готовность памяти зафиксировать, а затем выдать нужную информацию;
- способность к переносу опыта, оценке, предвидению.²⁴

К субъективным факторам, образующим *внутренние барьеры* творчества, относятся: сила привычки и инерция мышления; узкий практицизм; влияние авторитетов; страх перед неудачей; боязнь неприятия и критики; высокая самокритичность. Одним из инструментов самоорганизации, позволяющим преодолевать психологические барьеры, служит моделирование (внутренняя визуализация) отношения к задаче или состояния субъекта.

"Трансформатор" → модель отношения субъекта к задаче. Главный эффект – понимание, что задача не является устойчивой, застывшей в данном виде. Ее можно изменять. Эффект трансформации - возможность многократного преобразования - снимает страх перед неудачей в поиске решения, барьер начала сменяется возможной перспективой. Внутренне актуализируются основные функциональные процессы, реализуемые в техническом устройстве: 1) пропускать, 2) сохранять, 3) накапливать, 4) видоизменяться, 5) производить.

"Шлюзы" → модель состояния субъекта творчества, направленная на освобождение творческого потенциала. Образное представление о творческой

²⁴ Лук А.Н. Психология творчества. М.1978. Обобщенная психологическая характеристика творческого научного работника выведена в работе А.Г.Черемухина: Исследование причин творческой активности и личности автора научно-технических публикаций. М.1999. С.65.

энергии, дремлющей, ждущей своего выхода, дополняется представлением: нужно открыть «шлюз», усилив мотивацию или найдя хороший стимул.

"Сосуд" – модель состояния субъекта творчества, направленная на снятие внутреннего барьера неуверенности. Образное представление: человек – сосуд, хранящий опыт и знания человечества. Развитие образа: количество накопленных знаний – это предпосылка творческой деятельности; по мере накопления знания приобретают динамический активный характер, содержимое сосуда бурлит и переливается через край, возникает новое качество.

"Трамплин-барьер" – модель активизации мышления. Образное представление: барьер – информационный дефицит или стереотип мышления, страх, неуверенность, - преодолевается с помощью трамплина. Роль трамплина в преодоление барьера играют подсказки, заключенные в эвристических приемах.

Часть 2. Предыстория классической науки

1. Проблема начала науки

В современном науковедении нет единого мнения в толковании научного знания, поэтому вопрос: «когда и почему возникла наука?», – остается дискуссионным. Относительно времени возникновения науки существуют две крайние точки зрения.

Согласно первой точке зрения, научное знание сводится к обобщенному и выраженному знанию, которое рождается уже в глубокой предыстории, в то время, когда человек стал изготавливать орудия труда и передавать опыт его использования.²⁵ Поскольку в этом случае рациональность трактуется широко - как познавательно-деятельное, преобразующее отношение человека к окружающему, - практическое, обыденное и теоретическое (собственно научное) знание оказывается равнозначным. В этом контексте начало науки можно отнести к периоду неолита (VII тыс.до н.э.), с которым связана первая революция в системе человеческого образа жизни: переход от эпохи собирательства, охотничества и рыболовства – к скотоводству и земледелию. В истории человека период самой неолитической революции охватывает четыре тысячелетия (VII - IV тыс.до н.э.) и рассматривается как переход от

²⁵ Фрэзер Дж. Дж. Золотая ветвь. М., 1986, с.667. Согласно Фрэзеру, наука рождается вместе с человечеством, если понимать под наукой совокупность очевидных истин, извлеченных из наблюдений природы, такими истинами люди обладали всегда, во все эпохи.

дикости к цивилизации, которая характеризуется производящей экономикой. В это время отмечен резкий прирост населения в западной Европе – до 90 – 80 млн.чел. (что в 16 раз больше, чем население до неолитической революции), где плотность населения составила 2,5 чел. на один квадратный метр. В этот период социальные отношения, а также мотивы и конкретные действия индивида определяются уже не только и не столько добыванием и потреблением готовой пищи (уже существующей в природе), сколько производством пищи и других продуктов, необходимых для поддержания жизни индивида и общности. В то же время исследователи подчеркивают социальные и лингвистические основания неолитической революции, которые усматриваются в возникновении и развитии способов сохранения и передачи информации с помощью зарубок, знаков и символов.

Символика стихийно культивируется социумом как самое эффективное средство его сплочения и самоорганизации. Прямая и непрямая манипуляция поведением и сознанием индивида осуществляется через *процесс убеждения*. Социальное давление на индивидуума в форме убеждения, предполагая определенный контекст и минимально необходимый интеллектуальный опыт, постоянно актуализирует рациональную деятельность, которая опирается на символические структуры знания - образные (иконические) и языковые (абстрактно-понятийные).

Символика и знание, скрытое за ней, становится естественным способом индивидуальной психической самоорганизации на основе понимания, что требует от индивида актуализации жизненного опыта, необходимого знания языка и традиций, которое формируется в процессе обучения и невозможно без интеллектуального усилия. Первыми в истории социума складываются магическая и религиозная (мистическая) практики убеждения, стимулирующие непосредственное понимание, которое достигается с помощью экстатического действия, сопереживания, или эмпатии (вчувствования). Позже возникает другая, рациональная (или дискурсивная) практика убеждения, которая получает наибольшее развитие в становлении риторического искусства и наук. Она опирается на понимание как интерпретацию, разворачивание однозначного (и поэтому всем понятного) контекста. В современной культуре жизни без «рационального», осмыслинского отношения человека к действительности, своему месту в мире и себе самому невозможно даже простое действие.

Однако согласно первой точке зрения на проблему начала науки невозможно провести различие научного и ненаучного знания. Приведенные в

предыдущем разделе критерии характеризуют особую систему познания, которая сложилась гораздо позже и требовала помимо накапливания практических знаний созревания определенных условий, в частности, развития достаточно высокого уровня абстрактно-понятийного мышления и речевого общения, а также особого языка точного и емкого описания явлений и событий, отличного от обыденной речи и образно-мифологического. В истории социума эта особая познавательная практика (которая традиционно связывается с наукой и научной рациональностью) нарабатывалась долгое время в форме умозрения и понимания. Разграничение в Средние века религиозного и научного пути к истине положило начало процессу обособления познавательной рациональности.²⁶ В Новое время (XVII в.) познание обособляется в качестве особого рода рациональной деятельности, не ограниченной традиционными этическими запретами. В европейской культуре с тех пор закрепляется узкое понимание познания только в качестве процесса наращивания позитивного научного знания о природе.

Другая крайняя точка зрения на проблему начала науки трактует научное знание как определенную, специально планируемую исследовательскую деятельность, которая имеет свои особые методы и язык описания. Научная рациональность понимается как характеристика такой деятельности. Ее социальным основанием выступает наличие сложившейся теории и методов эмпирического исследования природы. В этом случае начало науки имеет исток в эпоху Возрождения и четко оформляется в XVII в. вместе с точным экспериментальным естествознанием. В этом контексте предшествующее знание о природе и природных явлениях трактуется как донаучное. В зависимости от степени абстрактности языка описания и методов исследования (от наблюдения и умозрения - до расчета и эксперимента) выделяют в качестве этапов становления науки:

- *пронауку* традиционных культур (Древний Восток, Египет – древняя математика и астрономия),
- античную *протонауку*, которая базируется на доказательстве (Древняя Греция - пифагореизм, натурфилософские школы, Платон, Аристотель, эпоха эллинизма - Евклида, Архимед, Птолемей)
- *протонауку* Средневековья (V-VIII вв., XII-XIV вв.)
- *протонауку* Возрождения и Нового времени (XV-XVII вв. Коперник, Галилей, Ньютона).

²⁶ Проблема соотношения религиозного и научного знания была одной из главных проблем средневековой философии. Ее принципиальное решение было дано Ф. Аквинским, канонизировано Католической церковью в XIII в.

В современном мире наука представляет собой сложное явление. С наукой связывается и совокупное знание о мире, и сфера исследовательской деятельности, и само исследование, и форма мировоззрения. В истории культуры становление науки как сложного социального явления проявляется в последовательном утверждении ее статусов.

В статусе совокупного обобщенного знания и деятельности по получению такого знания наука возникает в неолитический период истории человечества (а может быть и раньше, вместе с возникновением символики и речи). В статусе формы общественного сознания и формы мировоззрения – в Античном мире вместе с натурфилософией. В статусе социального института, главная функция которого интеграции и рост знаний – наука утверждается в XVII-XVIIIвв. Как система профессиональной (академической) подготовки кадров, обеспечивающих воспроизводство самой науки как социального института – в XIXв. (появление академий). В статусе производительной силы общества – в XXв. В начале третьего тысячелетия экономическое и политическое положение государства в существенной мере определяется возможностью и способностью использовать наукоемкие технологии.

Классический этап в развитии науки охватывает период с XVIIIв. (когда утверждается система точного экспериментального естествознания на базе классической механики и натурфилософии Ньютона) до первой трети XXв. (когда формулируются представления о статистическом законе и утверждается квантовая механика).

Неклассический период в развитии науки (30-50гг. XXв.) характеризуется дополнительностью в описании причинных связей (динамические и статистические законы), проблемами исследования и описания микромира. Фундаментальное значение приобретает принцип неопределенности (Гейзенберг), представление о двойственной природе квантовых объектов (Луи де Бройль), принцип вероятностного описания. В «неклассической науке» подчеркивается ограниченность механической картины мира, приоритет отдается вероятностно-статистическим моделям объяснения физических явлений. В сознания ученых того времени динамическая (механическая) модель объяснения причинных связей отождествлялась с мировоззренческим принципом детерминизма. Отрицание универсальности динамического закона в квантовой механике ассоциируется с альтернативным принципом индетерминизма (отрицанием причинно-следственной связи).

Постнеклассический период в развитии науки относят к концу XXв., когда фундаментальное значение в развитии естествознания и формировании

научной картины мира получают междисциплинарные («нефизические») принципы системности, эволюции, самоорганизации.

Переход к новому периоду в развитии науки в философии естествознания связывается с представлением о научной революции – качественном изменении стиля научного мышления (типа научной рациональности), базовых моделей описания и объяснения причинных связей (форм детерминизма), с новым категориальным и математическим аппаратом науки, сменой универсальных принципов в научной картине мира.

Мы выделим основные концепции, которые формировали научное мировоззрение в ту или иную историческую эпоху.

2. Исторические этапы развития античной науки

Первая система умозрительного научного знания о природе – **натурфилософия** (*natura* – лат. природа) возникла в античном мире (VII в. до н.э.) как система знаний о естественных причинах природных явлений. От практических знаний, которые в те времена давала математика, астрономия (астрология), зоология, ее отличало умозрительное толкование природы, в котором на основании положения о строении мира подчеркивалось единство явлений природы и ее целостность. Проблема единства структурных уровней материального мира, которую выявила натурфилософия, характерна для фундаментальной науки и в наше время.

В рамках античной натурфилософии, таким образом, была сформулирована познавательная установка естествознания, определяющая вектор развития науки до настоящего времени. Методологические принципы, на которые опиралась античная натурфилософия в получения истинного знания – умозрения, сомнение, созерцание. Принцип сомнения положил начало процедурам рационального обоснования в виде рассуждения.

Натурфилософия как новая система знания, начавшись в Древней Греции в эпоху «семи мудрецов», завершается в XVII в. вместе с созданием классической механики И.Ньютоном. Свой главный труд Ньютон назвал «Математические начала натуральной философии». Далее в истории человеческой мысли пути философии и естествознания расходятся. Если до сих пор картина мира формировалась в единой натурфилософии, то, начиная с XVII-XVIII вв., научная и философская картины мира не совпадают.

Первая научная картина мира строится на основе классической механики Ньютона и сложившегося в XVII в. точного экспериментального

естествознания, которое уже не удовлетворяет умозрительный философский метод получения знания. Именно в это время центральной проблемой философии становится вопрос об истинном методе науки, формируются диаметральные позиции в теории познания: эмпиризм и рационализм, подчеркивается абстрактность философских категорий, за которой теряется их естественное основание. Например, Дж. Беркли (XVII в.) отрицал реальное существование материи, поскольку эту абстракцию невозможно ощутить в отличие от предмета и его свойств.

2.1 История древнегреческой натурфилософии

Первая проблема в истории древнегреческой натурфилософии (VI-VII вв. до н.э) – поиск природного основания (первоэлемента - кирпичика мироздания), обеспечивающего единство и многообразие наблюдаемого мира, а также закона естественной связи событий. В центре внимания древнегреческих философов – строение и гармония Космоса, органичной частью которого выступают не только стихия наблюдаемых явлений (то, что впоследствии трактуется как природа), но также идеальные, скрытые сущности. Поэтому поиск первоэлемента в древнегреческой натурфилософии имеет две традиции: стихийно-материалистическую и идеалистическую.

Материалистическая традиция восходит к мифологии, где утверждаются четыре основные стихии (стехея – греч. первооснова): вода, земля, огонь и воздух. Натурфилософская позиция отличается стремлением - выделить одну стихию в качестве основания («корня») всего существующего и обосновать его необходимость. Впервые это стремление выразил *Фалес* (ок. 625 – ок. 547 до н.э.), считавший вопреки мифологии первоэлементом *воду*, поскольку невозможно найти абсолютно сухое тело. Фалес был самым почитаемым из «семи мудрецов», списки которых имели хождение в Древней Греции. Фалес сформулировал популярные в античном мире мировоззренческие гномы (афоризмы): «Больше всего пространство, потому что оно все в себе содержит», «Быстрее всего ум, потому что он все обегает», «Сильнее всего необходимость, ибо она имеет над всем власть», «Мудрее всего время, потому что оно все открывает», - предсказал год полного для Ионии солнечного затмения, которое имело место 28 мая 585г. до н.э. Известно, что в Афинах Фалес был провозглашен первым из семи мудрецов в 582 г. до н.э. До наших дней дошли только названия его произведений: «О началах», «О солнцестоянии», «О равноденствии», «Морская астрология». По преданию

Фалес был финикийцем, первоначальные знания получил в Азии и Африке (Вавилоне, Финикии, Египте). В античной культуре Фалес был первым астрономом и математиком, принесшим в Элладу геометрию. Ему приписывалось открытие годового вращения Солнца на фоне неподвижных звезд, определение времени солнцестояний и равноденствий. Фалес утверждал, что Луна светит не своим светом, а небесные тела представляют собой воспламенившуюся землю. Всю небесную сферу Фалес разделил на пять зон, ввел календарь, определив продолжительность года в 365 дней и разделив его на 12 месяцев по 30 дней, при этом пять дней выпадали, что было характерно для Египетского летосчисления.

Фалес дожил до глубокой старости. В Милете, где он появился уже стариком, основал первую древнегреческую натурфилософскую школу. Ее наиболее известные представители: Анаксимандр, Анаксимен, Гераклит, Демокрит.

Ученик и последователь Фалеса *Анаксимандр* был автором первого философского сочинения в прозе «О природе», которое положило начало многим одноименным трудам греческих натурфилософов. От этого сочинения уцелел только один небольшой отрывок. О жизни Анаксимандра нет сведений. Однако известно, что Анаксимандр ввел в Элладе солнечные часы – «гномон», представляющие собой вертикальный стрежень, установленный на размеченной горизонтальной площадке; построил модель небесной сферы – глобус, начертывая географическую карту. Именно Анаксимандр расширил представление о первоэлементе до понятия «архэ», то есть до первоначала, субстанции - того, что лежит в основании всего сущего. Он выдвинул идею абстрактного умозрительного основания космоса, полагая в качестве первоэлемента *апейрон* (с греч. – беспределное, неопределенное). У Анаксимандра апейрон – начало, безразличное ко всем стихиям, но нечто им всем общее, благодаря чему возможно взаимное превращение воды, земли, воздуха и огня. Современные аналоги этого первоначала – движение, энергия, поле.

Анаксимандру принадлежит идея естественного возникновения гармонии Космоса из некоторой неопределенной массы, находящейся в постоянном круговом вращении, а также идея о бесконечности Космоса во времени. Находясь во вращательном движении, апейрон выделяет противоположности – влажное и сухое, холодное и теплое. Парные комбинации этих свойств образуют землю (сухое и холодное), воду (влажное и теплое), воздух (влажное и горячее), огонь (сухое и горячее). В центре собирается самое

тяжелое - земля, окруженная водной, воздушной и огненной сферами. Под действием небесного огня часть воды испаряется, и земля выступает из мирового океана, так возникает суши. Небесная сфера разрывается на три кольца, полые внутри и наполненные огнем. В нижнем кольце много отверстий (наподобие обода колеса), сквозь которые просматривается заключенный в нем огонь. Это звезды. В среднем кольце (ободе) только одно отверстие. Это Луна. В верхнем кольце (ободе) также одно отверстие. Это Солнце. Отверстия способны полностью или частично закрываться. Так происходят солнечные и лунные затмения. Сами кольца вращаются вокруг Земли. С ними вращаются и отверстия. Анаксимандру принадлежит и первая гипотеза о происхождении жизни и человека. Живое зарождается на границе моря и суши из ила под воздействием небесного огня. Первые живые существа жили в море, затем некоторые из них вышли на суши, сбросили с себя чешую. От морских животных произошел человек. Он зародился и развился до взрослого состояния внутри какой-то громадной рыбы, затем вышел на суши.

Ученик Анаксимандра *Анаксимен* в своем сочинении «О природе» свел апейрон Анаксимандра к свойству воздуха, который беспределен. Поскольку всякий наблюдаемый предмет дышит, первоэлементом Анаксимен считал воздух. Беспределенный воздух – начало мира, а также тела и души. Все возникает из воздуха через его разрежение (воздух становится огнем, затем эфиром) и сгущение (воздух становится ветром, затем – облаками, водой, землей, камнем). Разрежение воздуха связано с нагреванием, а сгущение – с охлаждением. В натурфилософской картине Анаксимена Земля неподвижна, а светила движутся воздушными вихрями. Солнце, согласно Анаксимену, – это земля, которая раскалилась от своего быстрого движения. Плоские Земли и небесные светила парят в воздухе подобно листьям. Анаксимен подправил своего учителя Анаксимандра, поместив в картине мироздания звезды далее Луны и Солнца, состояние погоды связал с активностью Солнца. Что вполне соответствует современным представлениям.

Гераклит Эфесский (VI-Vвв. до н.э., р. ок 544 – 540 до н.э. – год смерти неизвестен) создал третье философское сочинение «О природе», считал первоэлементом огонь, полагая, что «этот космос, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, но всегда был, есть и будет вечно живым огнем, в полную меру воспламеняющимся и в полную меру погасающим» (В 30). Аналогом такого первоначала в современном естествознании выступает плазма, которая предшествует образованию химических элементов. Гераклит вводит в натурфилософию представление о неустранимости движения как

изменения («Все течет, и ничто не остается на месте», «В одну реку нельзя войти дважды»), формулирует его источник, которым выступает борьба противоположностей, приводящая к постоянной смене состояний: «Смерть земли – рождение воды, смерть воды – рождение воздуха, а воздуха – огня: и обратно». Его концепция непрерывного изменения материального космоса предполагала в основном круговорот вещественных стихий: огня, воздуха, воды и земли. Согласно Гераклиту «Вселенная конечна, и мир един». Единство космоса в натурфилософской картине Гераклита определяется всеобщим законом – логосом, которому подчиняются все, включая богов, природу, людей. В более поздней античной и европейской культуре логос Гераклита истолковывался как «бог», «судьба», «необходимость», «вечность», «мудрость», «общее», «закон».

Идеалистическая традиция в древнегреческой натурфилософии также имеет исток в мифологии и древней магии. Ее начало связано с именем Пифагора (вторая половина VI в до н.э.) – математика, философа, религиозного и политического деятеля. Пифагор родился на о.Самос, в юности побывал в Милете, где слушал Анаксимандра, совершил путешествие на Восток. В Египте и Вавилоне он познакомился с восточной математикой и астрономией, поселившись в г.Кротон (Южная Италия) основал религиозно-философское братство – *Пифагорейский союз*, который в первой половине 5 в. до н.э. достиг политического господства в городах Эллады. Членами этого союза могли стать все желающие (включая женщин), но после довольно сурового нравственного и интеллектуального испытания, которое могло длиться годы. Пифагорейцы следовали аскетическому образу жизни, создали учение о числах, акустику, учение о гармонии небесных сфер и о переселении душ (метемпсихоз). Отсутствие сведений не позволяет точно указать вклад Пифагора в развитие научной мысли. Но созданное им учение *пифагореизм* – важная страница античной натурфилософии, он представлен целым рядом исторических имен и засвидетельствован множеством фрагментов. Пифагорейцы первыми стали рассматривать числовые отношения как ключ к пониманию вселенной. Именно в пифагореизме формулируется принцип, ставший фундаментальным для современной науки: точное знание возможно лишь на основе математики. Позже, в IV в. до н.э. пифагорейские представления о математической природе научного знания получили четкое

выражение и обоснование в сочинениях Платона, систематизировавшего и соединившего различные области математики в единую систему наук.²⁷

С именем Пифагора связано введение в науку аксиоматического метода, доказательство известной теоремы о сторонах прямоугольного треугольника, понятие иррациональных чисел в математике, изучение пропорций, соотношения целых и дробных чисел, соотнесение числа с гармонией созвучий. В учении Пифагора числу придавалось и мистическое, и мировоззренческое значение первоначала всего сущего. Структура Космоса мыслилась как физико-геометрико-акустическое единство, числовые соотношения как источник гармонии космоса.

Пифагорейский союз сыграл большую роль в становлении медицины как особой области знания и практики врачевания. Пифагорейцы лечили тело гимнастикой и наружными лекарствами, а душу – музыкой, избегали отрицательных эмоций: гнева, уныния, тревоги, стремились предотвращать болезни, для чего разрабатывали режим диеты и отдыха. Родоначальником Кротонской медицинской школы был Каллифон - жрец при храме Асклепия (бога врачевания). Его сын Демокед, будучи в персидском плену, вылечил царя Дария, за что тот сменил ему пару железных цепей на две пары золотых. Наиболее известный врач Кротонской школы Алкмеон положил начало анатомическим исследованиям, пытался найти общую причину болезней. Эту причину он видел в нарушении равновесия качеств тела, в господстве одного из качеств. Алкмеон различал ощущение и мышление, считал, что животные только ощущают, но не мыслят. Ему принадлежит гениальный для того времени вывод, что мозг – орган мышления. Эволюция пифагорейской медицины способствовала превращению лечебной магии в науку.

Пифагореизм был одним из наиболее влиятельных учений в античном мире, в развитии которого в разные периоды преобладали достижения политические, философские и научные. В отечественной литературе выделяют: *ранний пифагореизм* – деятельность самого Пифагора и Пифагорейского союза, заложившего основания для последующих политических, этических, философских и научных пифагорейских школ; *средний пифагореизм* – развитие учения Филолаем²⁸ уже после разгрома

²⁷ Гайденко П.П. «Пифагореизм и истоки древнегреческой математики» // Эволюция понятия науки. Становление и развитие первых научных программ. М., 1980. С. 16-56.

²⁸ Сведения о жизни и сочинениях Филолая противоречивы. По легенде он молодым смог вырваться из горящего дома, где погибли находившиеся там пифагорейцы (сер. 5 в. до н.э.). По другим сведениям он в начале 4 в. до н.э. встретился с Платоном. Известно, что во время политического преследования Пифагорейского союза Филолай покинул «Великую Элладу» и жил в Фивах, имел много учеников. В конце жизни вернулся на родину под покровительство своего ученика Архита, который правил в Таренте.

Пифагорейского союза его политическими противниками в середине 5 в. до н.э., *поздний пифагореизм* – превращение пифагореизма в науку, утрата им мифологических и философских оснований (первая половина 4 в. до н.э.). Пифагорейцам принадлежит развитие практики научных занятий, создание культа разума.

Одним из выдающихся представителей раннего пифагореизма был Гиппас, который учил, что начало всему огонь, а число соответствует Гераклитову логосу. Позже Филолай развил эту идею в космологии, считая, что в центре мироздания находится огонь, который более совершенен, чем Земля. Этот огонь – не Солнце, а некий Центральный огонь. Из него возникает все: «Центральный огонь есть первое по природе».²⁹ Филолаю приписывается очередное сочинение «О природе», в котором проводится мысль о движении Земли вокруг центрального огня по наклонному кругу, вокруг этого центра движутся так же Луна, Солнце и пять планет (известных в то время). Солнце у Филолая – не раскаленное тело, а холодная кристаллическая масса, которая отражает свет Центрального огня, невидимого с Земли. Луна подобна Земле и населена животными и растениями, более крупными и более красивыми, чем земные. Лунный день равен земному дню. В космологии Филолая есть придуманное тело Антихтон (противоземелье), которое он ввел, чтобы было десять небесных тел. Кроме того, Антихтон загораживал Землю от Центрального огня.

Филолай развивал представление о тождестве (неразличении) математического и физического, все числа изображал как фигуры. Единица – точка, двойка – линия, тройка – плоскость, четверка – четырехгранный пирамида (тетраэдр). Особое место в ряду натуральных чисел занимала декада (декада), которая представляла собой «треугольное число», т.е. равносторонний треугольник со стороной в 4 единицы (тетраксис). Такое изображение показывало, что декада – сумма первых четырех чисел натурального ряда (1,2,3,4). А так как единица двойка, тройка и четверка – арифметическое выражение точки, линии, плоскости и тела, то декада содержала в себе все четыре формы пространственно-телесного мира.

В 4 в. до н.э. развитие пифагорейской научной мысли связано с деятельностью Платона и его школы (платоновской академии). Крупнейший представитель позднего пифагореизма Архит Тарентский был учеником Филолая и Эмпедокла, современником и другом Платона, совмещал в себе

²⁹Центр мироздания – вселенская Гестия (богиня, олицетворяющая домашний очаг). Цит. по Чанышеву А.Н. Курс лекций по древней философии. М. 1981.

качества выдающегося математика, механика, философа, музыканта, военачальника, политического деятеля. По свидетельству Диогена Лаэрция, Архит «вызывал удивление народа по причине своего совершенства во всех отношениях». В демократическом Таренте Архит занимал высший политический пост стратега дважды, прославился как человек, умеющий властью пользоваться. Восприняв пифагорейскую психотерапию, Архит отличался умением побеждать свои страсти, гнев и прочие отрицательные эмоции. Следуя пифагорейской системе ценностей, Архит ставил на первое место благопристойное и прекрасное, не второе – полезное и выгодное, на последнее – удовольствия. Как математик Архит прославился решением задачи на удвоение куба, видел социальную роль математики в том, что измерение и счет способствуют прекращению распреи и увеличению согласия между людьми. Как механик прославился созданием летающего деревянного голубя, к которому прикреплялся противовес, крылья голубя приводились в движение сжатым воздухом.

Важнейшими частями пифагореизма были: учения о числах, о противоположности, о мире и о душе. В учении Пифагора душа бессмертна, она есть гармония как числовое соотношение. В позднем пифагореизме душа понималась уже как функция тела, утверждалось, что душа смертна, ибо она есть гармония частей тела.

Объявляя числа началами, пифагорейцы исходили из универсальности числа, которая позволяет выразить гармонию космоса и сущность любых явлений, даже этических. О взаимоотношении вещей и чисел единого мнения не было. Пифагорейцы либо отождествляли вещи и числа, либо видели в числах компоненты вещей, либо видели в числах сущности вещей. В пифагорейском учении о числе развивалась идея, что числа – не вещи, и не материя для вещей, а их сущность.

В учении о противоположностях пифагорейцы выделили универсальные противоположности и утверждали, что именно противоположности – начала вещей. Пифагорейская таблица противоположностей включала десять пар: предел и беспредел, чет и нечет, единое и многое, правое и левое, мужское и женское, покоящееся и движущееся, прямое и кривое, свет и тьма, добро и зло, квадратное и прямоугольное.

В пифагорейском учении о мире беспредельное в чистом виде – это «пневма» (смесь воздуха и огня), которая окружает центральную часть, оформленную пределом. Эта центральная часть и есть мироздание (космос, небо), которое дышит (вдыхает «пустоту» как неоформленное разреженное

состояние вещества). Возникновение мира (космоса) произошло как ограничение беспредельного пределом: первоначальная вещественная единица принимает вид множества, будучи разделена на части вдыхаемой «пустотой». При выдохе мироздание снова переходит в противостояние предела и беспредельного.

По свидетельству Аристотеля, пифагорейская картина мира существовала в двух видах: геоцентрическом (Пифагор) и негеоцентрическом (Филолай). В *геоцентрической картине* большое значение придавалось «гармонии сфер». Согласно Пифагору, планеты, двигаясь сквозь *пневму* (позднее - эфир), издают монотонные звуки разных типов в зависимости от своего размера, скорости движения и удаленности от Земли, занимающей центральное положение. Сатурн издает самый низкий звук, Луна – самый высокий и пронзительный. В совокупности тона создают гармоничное созвучие. Но более позднему пифагореизму свойственна *негеоцентрическая картина* мироздания, в которой Земля имеет сферическую форму, вращается вокруг себя самой и вокруг Центрального огня.

В *элейской школе*,³⁰ главными представителями которой были Ксенофан (ок. 570 – после 478 г. до н.э.), Парменид (р. 540/39 или 515 г. до н.э.– начало V вв. до н. э.), Зенон (ок 490 – 430 гг. до н. э.), истинным началом всех вещей (и первоэлементов) является неизменное, неподвижное бытие, сохраняющаяся сущность, Бог. *Ксенофан* учил, что первичными началами являются вода и земля; материя, состоящая из этих элементов, не уничтожается и не возникает, мир существует вечно.

Значение элейской школы в истории науки связано с выдвижением идеи сохранения мира, постановкой проблемы бесконечности в математике, а также проблемы рационального описания движения и единства мира, выделением ведущей роли абстрактного мышления (умопостижения, умозрения) в развитии знания о мире, его сохранении и единстве. *Парменид* и его ученик *Зенон*, которые были членами пифагорейского союза, отрицали идею Гераклита о в永恒 изменении, становлении, движении. Пармениду принадлежит учение о «едином» (или о «бытии»), которое характеризуется вечностью и неподвижностью, однородностью, неделимостью и законченностью, т.е. свойствами абсолютными и противоположными становлению. Текущесть мира, его разнообразие и движение - кажущееся, поскольку это характеристики «небытия», которого нет. Согласно Пармениду,

³⁰ Название эта школа получила от г.Элея – греческой колонии в южной Италии. Ксенофан, который родился в Ионии (г.Колофон) и был вынужден скитаться и период греко-персидских войн, в своих стихах воспел основание полиса Элея, где открыл философскую школу.

единое бытие дается как мир умопостигаемый, поскольку его сущность составляет неизменность, непрерывность, нераздельность, одинаковое присутствие в каждом мельчайшем элементе действительности. Такое понимание единства мира исключало множественность вещей и их движение, как раз наиболее очевидные характеристики наблюдаемого мира природы.

Зенон, доказывая невозможность движения, сформулировал свои знаменитые апории «Ахиллес», «Стрела», «Дихотомия», «Стадий», демонстрирующие парадоксы в попытках мыслить движение. Главное познавательное значение этих апорий – наглядный пример, показывающий резкое различие наблюдаемого (ощущаемого) и мыслимого, эмпирического знания и умозрительного (теоретического, абстрактного). Тезис о единстве бытия Зенон доказывал методом от противного: если допустить, что бытие не едино, а множественно, мысль заходит в тупик противоречия. Если существует много вещей, то их должно быть столько, сколько их действительно есть. Если же их столько, сколько их есть, то число их ограничено. Таким образом, *сущее ограничено* по числу. Если существует много вещей, то сущее по числу беспредельно, ибо между отдельными вещами всегда находятся другие вещи, а между этими опять другие. И таким образом, *сущее не ограничено* по числу.

Рассуждения Зенона и его апории сыграли заметную роль в развитии математической теории пределов, подготовили почву для разработки и оформления понятия континуума и понятия движения, без которых немыслимо современное естествознание. В апориях Зенона, несмотря на отрицание движения, вводится главный *принцип исследования движения тел: необходимость соотнесения пространственных и временных координат*.

Мировоззренческая позиция элеатов основана на различении мышления и чувственности, мира мыслимого (умопостигаемого) и мира чувственно познаваемого. Принципиальное противопоставление мыслимого и чувственного бытия отмечал уже Ксенофан, но сформулировал его Парменид, который считал, что *мыслить и быть есть одно и то же по своему содержанию*. Не отрицая существования чувственно воспринимаемого мира явлений, Парменид доказывал, что для его научного осознания мало одной чувственности, необходимо умозрение (абстрактное мышление), подчеркивал неточность ощущений и постоянство, устойчивость мыслимого предмета, считал критерием истины разум. Чувственный мир Парменид трактовал как смешение огня и земли, светлого и темного, теплого и холодного, тонкого и плотного, легкого и тяжелого. В натурфилософии Парменид следует

Анаксимандру, однако говорит об огненном центре Вселенной, следуя пифагорейцам. Parmenid вместе с Ксенофаном и Пифагором учили о ложности ощущений вопреки типичному для древнегреческой натурфилософии учению о том, что ощущение и мышление тождественны.

В античном мире элейское учение о «едином» было настолько влиятельным, что говорили о зависимости Эмпедокла и атомистов от Parmenida.³¹ Атомизм даже рассматривался как разновидность элейского учения, потому что атом Лекиппа - Демокрита имел те же абсолютные качества, которые характеризуют единое умопостигаемое бытие, но только даны они в своем индивидуальном бытии, когда атомы становились маленькими едиными, т.е. маленьким единичными (единицами). А единица в пифагорейской традиции имела сакральное значение, соотносилась с всеобщим началом. Число «2» - символизировало разделение единого, начало противоположностей, число «3» - начало природы (мира явлений), число «4» - гармонию, разум, здоровье.

Мировоззренческие идеи пифагорейской натурфилософии и элейской школы, которые отличались абстрактностью и резко противостояли натурализму практической и обыденной жизни, были развиты Платоном и Аристотелем.

У последователя элейской школы Платона – первоэлементами Космоса выступают эйдосы – бестелесные и неизменные прообразы вещей, они образуют особый, истинный мир, противостоящий миру материи, в котором из-за постоянного движения, изменения, рождения и гибели нет ничего определенного. Согласно Платону, все чувственно воспринимаемые вещи произошли из этих бестелесных вечных эйдосов («видов», или «идей»). Мир наблюдаемых чувственных вещей возникает как третий мир, соединяющий в себе постоянство вечных сущностей (идей) с изменчивостью материи. В поздний период жизни Платон сблизился с пифагорейскими математиками, его представление об «идеях» стало срастаться с пифагорейским представлением о «числе» как сущности вещей. Развитие мысли от пифагорейцев, элеатов и до Платона привело к расщеплению мира на идеальный и чувственный.

У Аристотеля, ученика Платона, активными первоэлементами, определяющими мировую гармонию, выступают «формы» вещей, поскольку именно благодаря наличию формы вещи становятся самими собой в наблюдаемом мире. В отличие от «эйдосов» Платона «формы» Аристотеля не

³¹ Лосев А. Parmenid // Философская энциклопедия. Т.4. М. 1967. с.215.

мыслятся отдельно от вещей. Природа – естественное единство единичных вещей или «субстанций», за пределами природы пребывает бог (ее верхняя граница) и неопределенное вещество («материя»), способное к соединению с любой «формой» (ее нижняя граница). Аристотель разделяет «форму» и «материю» только соотношением возможности и действительности. В каждой из вещей чувственного мира ее «материя» (т.е. возможность чем-то стать, например, деревом или статуей) соединяется с ее действительной «формой». Поэтому одна и та же вещь (кирпич, например) есть и «форма» (по отношению к глине), и «материя» (по отношению к стене дома). Бог рассматривается у Аристотеля как высшая цель, к которой направлено все в мироздании. Однако в конкретных вопросах о целесообразности в явлениях жизни Аристотель подчеркивает внутренний, а не извне данный или предписанный характер целесообразности, характеризующей строение и поведение живых существ.

Первые натурфилософские концепции. В V-IV вв. до н.э. складываются противоположные мировоззренческие концепции: элементаризм и атомистика.

Элементаризм – учение о строении космоса, выдвинутое Эмпедоклом (490 – 430 до н.э.), в котором наблюдаемый мир – производное от четырех основных первородных элементов (*elementum* – лат. первооснова, первоначало): земли, воды, огня, воздуха. Именно они образуют «корни» всех вещей. Разнообразие вещей объясняется различным сочетанием элементов, а изменения в физическом мире – их перемещением. Можно сказать, что к Эмпедоклу восходит представление о том, что сложные тела состоят из элементов, которое в XIX в. легло в основание химии как естественной науки.

Свою натурфилософию Эмпедокл изложил в поэме «О природе». Главный тезис элементаризма: «В мире нет места для пустоты, все состоит из элементов». Эмпедокл вводит в натурфилософию идею сохранения материи, утверждая: «Ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться». Эмпедокл отвергает мысль о рождении и смерти вещей, полагая, что они образуются в результате смешения и соединения стихий в определенных пропорциях. Так, кость состоит из двух частей воды, двух частей земли и четырех частей огня. Источником движения, наблюдавшегося в природе, являются не сами неизменные «корни», а две противоположные силы – любовь и вражда, которые обладают вполне определенными физическими качествами. Любовь имеет все свойства влаги (притяжение), вражда – свойства огня (разъединение). Согласно Эмпедоклу, единство и

множественность мира существуют не одновременно, а последовательно, в зависимости от преобладания той или иной силы. Жизнь природы - циклический процесс, в котором сначала господствует «любовь», соединяющая элементы, тогда в мире воцаряется единство, (качественное своеобразие отдельных элементов пропадает), затем господствует вражда, в результате которой появляется множество. Господство этих сил разделяется переходными периодами. В процессе этих повторяющихся циклов происходят все мировые события, сами же элементы не возникают и не уничтожаются, поскольку они вечны. Таким образом, согласно Эмпедоклу, мир представляет собой то полное единство (гармонию), то бессвязное множество, и это чередование повторяется бесконечно.

Эмпедоклу принадлежит догадка о причине солнечных затмений (Луна находится между Солнцем и Землей), также догадка о материальной природе и конечной скорости света. Он полагал, что свет вытекает из светящего тела, пребывает сначала в промежуточном пространстве между небесной твердью и землей, затем приходит к нам. Это движение остается незамеченным вследствие своей скорости. Эмпедокл считал, что мы не воспринимаем скорость света, потому что она очень велика.

Эмпедокл выдвинул своеобразную теорию восприятия, оказавшую большое влияние на последующую древнегреческую натурфилософию (в лице Демокрита, Платона, Аристотеля). Ему принадлежит мысль, что процесс чувственного восприятия зависит от строения телесных органов. Он полагал, что подобное воспринимается подобным, поэтому органы чувств приспособливаются к ощущаемому. Органы чувств имеют своеобразные поры, которые делают возможным процесс восприятия и в то же время его ограничивают. Предметы не воспринимаются, если строение органов не позволяет им приспособиться к воспринимаемому. Таким образом, в древнегреческой натурфилософии впервые формулируется идея адаптации и догадка о естественном отборе наиболее приспособленных. Эмпедокла можно назвать античным эволюционистом, поскольку он считал, что развитие живого мира и человека прошло несколько этапов, в результате сохранились только жизнеспособные виды. Вначале путем самозарождения появились растения, затем животные, возникшие естественным путем из земли. Именно жизнеспособностью Эмпедокл объяснял целесообразное устройство организмов.

Основатель Афинской школы натурфилософии, ученик Анаксимена *Анаксагор* (родом из Клазомен, ок. 500 – 428 до н.э.) в одно время с

Эмпедоклом выдвинул учение о неразрушимых элементах, число которых бесконечно. Анаксагор был хорошо знаком с учением о бытии Парменида и трактатом Зенона. Ему принадлежит первое высказывание об огненной природе Солнца, объяснение солнечного затмения экранированием Солнца Луной. Анаксагор объяснил также фазы Луны, предсказал падение метеорита во Фракии. В своем сочинении «О природе» он сводил многообразие мира к существованию бесконечно малых, неисчислимо многих и неизменных элементов (семян, позднее названных гомеомериями), которые первоначально были смешаны и образовывали хаос. Учение Анаксагора называют стихийной атомистикой, поскольку она содержит идею корпускулярного строения мира. Однако Анаксагор отрицал пустоту, считая, что все вещи образуются через трансформацию уже существующих вещей («во всем заключается часть целого»). Его идея «все во всем», выделяющая непрерывность (континуальность) мира, конструктивно развивается и в современной квантовой физике.

Анаксагор выдвинул космогоническую концепцию, согласно которой видимая Вселенная – результат длительного и закономерного развития, исходный пункт которого – первичное состояние, представлявшее собой бесформенную и лишенную движения смесь вещей. Сочинение Анаксагора начинается как раз с описания этой смеси. В первичном состоянии все вещи были раздроблены на бесконечное множество беспредельных по малости частиц, которые не были различимы: 1) по причине их малости, 2) потому что все заполняли эфир и воздух, преобладавшие над всеми вещами. Это первичное состояние длилось неопределенно долго и оставалось бы постоянным, поскольку первоначальный хаос не мог своими силами развиться в космос. Для этого необходимо активное начало, которое он обозначает как *Нус* (ум). Мировой ум творит космос из хаоса. Начиная действовать, *Нус* приводит смесь в круговое движение. Редкое отделяется от плотного, холодное – от теплого, сухое – от влажного, светлое – от темного и т.д. В средине мироздания собирается плотное, влажное, темное, тяжелое. Так образуется Земля. Все теплое, светлое, сухое и легкое устремляется вверх. Так образуется Небо. Мир окружен преобладавшим издавна эфиром, который, продолжая вращаться, отрывается от Земли камни. Они воспламеняются, образуя звезды, Луну и Солнце. Солнце, по Анаксагору, – кусок раскаленного железа или горящий камень, больше по размерам Пелопоннеса. Именно такое представление навлекло на него политические преследования, в результате сочинения Анаксагора были запрещены.

В отличие от учения атомистов, первоэлементы («семена») Анаксагора безгранично делимы, ибо они, несмотря на свою малость, подобны большим вещам и содержат в себе все качества и свойства, содержащиеся в макроскопической вещи. Всякая вещь – единство великого и малого. «Нус» – тончайшая и чистейшая из всех вещей. Он заключен в материю, которую творит, но сам с ней не соединим.

Атомистическое учение развивается в Милетской школе Левкиппом (предположительно 500 – 440 гг. до н.э.)³² и его учеником Демокритом (ок. 460-370 до н.э.), в последствии Эпикуром (341 – 270 до н.э.). *Левкипп* был учеником Анаксимена, слушал Зенона Элейского, но не стал последователем элейской школы, а создал собственное учение. Он утверждал, что в основе Вселенной лежит не единое неподвижное начало, а бесконечное число движущихся элементов и бесконечное число их форм; что пустота («небытие») так же реальна, как и тело; что все существующее совершается в силу естественной необходимости, определяемой им как причинность.

Ученик Левкиппа *Демокрит* был первым энциклопедическим умом среди греков. Ему принадлежало около 70 работ по философии, физике, математике, физиологии, медицине, теории музыка, поэзии, из которых сохранилось до нашего времени около 300 фрагментов. Демокрит был родом из ионийской греческой колонии (г. Абдеры), его первыми учителями были халдеи и персидские маги. В поисках знаний Демокрит посетил Египет, Вавилонию, Иран, Аравию, Индию, Эфиопию. В Афинах слушал Филолая и Сократа, знал Анаксагора, был другом Гиппократа. По возвращении на родину написал основное сочинение «Малый диакосмос», которое продолжало и дополняло первый главный труд атомистов «Великий диакосмос», которое приписывают Левкиппу. Диакосмос (греч. – устройство) - у античных атомистов «мировой порядок», «мировой строй», мироздание, мир - то, что Пифагор назвал в свое время Космосом. Эти сочинения не сохранились. Согласно более поздним свидетельствам, в «Великом дикосмосе» излагались общие проблемы мироздания, его предмет – первоначала (атомы и пустота) и состоящие из них миры. В «Малом дикосмосе» (в оригинале «Микрос диакосмос») - впервые была дана всеобщая теория естественного развития природы и человека.

В качестве материального первоэлемента космоса выступает атом (греч. – далее неделимый), который представляет собой абстрактную (невидимую) единицу, с которой связывается неизменное, вещественно оформленное

³² Сведения о Левкиппе очень скучны. Известно, что он из Элеи или из Милета, ученик Анаксимена, современник Парменида, Зенона Элейского, Эмпедокла, Анаксагора.

начало. Атом очень мал и лишен каких-либо качеств. Единство и качественное многообразие мира зависит от соединения атомов, разнообразия возникающих конфигураций. Картина мира в атомизме предполагает два начала: атомы и пустоту, которая в противоположность атому изменчива, невещественна, бесформенна. Пустота необходима для движения атомов и соединения их в разнообразные сложные структуры.

В атомистическом учении Демокрита утверждается реальность движения и единство наблюдаемого мира, но сохраняется рациональное зерно элейского и пифагорейского учений. Атомисты истолковали элейское понятие бытия и небытия в физическом смысле, первыми стали учить, что пустота (небытие) столь же реальна, как и атомы, также является элементом («стихией») действительности и необходимым условием движения атомов и образования сложных тел. Атомы и пустота абсолютно исключают друг друга. Ничто свойственное атому не присуще пустоте. У Демокрита пустота – бесконечная непрерывность. Демокрит считал вслед за элейцами, что бесконечная делимость материи противоречит присущей ей неуничтожимости, поэтому должны быть столь малые тела, которые будут далее неделимыми, иначе они будут непротяженными, не имеющими величины математическими точками, которые превращаются в «ничто». Согласно Демокриту атомы неделимы вследствие своей плотности и малости, бескачественны, как если бы состояли из одного вещества. Атомы не превращаются друг в друга, они лишены частей и пустоты, непроницаемы и вечны. Атомы Левкиппа - Демокрита, как видим, существенно отличаются от того, как понимается атом в современной науке.

Атомисты построили картину мира, в которой возможно становление, движение, множественность и разнообразие вещей, соединив идеи Гераклита и Парменида. Возникновение и уничтожение вещей атомисты объясняли разделением и сложением атомов, изменение вещей – изменением их порядка и положения (поворота). Атомы «складываясь и сплетаясь... рождают вещи». Мир вещей текуч, мир элементов, из которых состоят вещи неизменен. Закон сохранения бытия (выделенный элеатами) атомисты обогатили законом сохранения движения, а также установили, что главный закон происходящих в мироздании событий – причинно-следственная связь: «Ни одна вещь не происходит попусту, но все в силу причинной связи и необходимости». Это первая формулировка принципа причинности - почти все, что сохранилось от сочинения Левкиппа «О разуме».

Благодаря Демокриту, в натурфилософии утверждается и развивается мысль о причинной обусловленности явлений (детерминизм) и о возможности

достигнуть достоверного знания, основанного на данных чувств, дополненных деятельностью разума. Натурфилософская позиция Демокрита отмечена жестким детерминизмом, поскольку он считал, что нет событий, причину которых нельзя установить. Все в мире имеет конечную причину в соединении атомов, поэтому в мире нет случайных событий, все события совершаются необходимо. Случайность субъективна, случайно то, причину чего мы не знаем. Ссылка на случай, по Демокриту, – ленность мысли, отказ от поиска причины. Все происходящее имеет причину в другом, а другое – в третьем и т.д. Ничто не происходит без причины, свободно. У атомов нет никакого свободного движения, движение происходит вследствие столкновения атомов. Сведя необходимость к причинности, утверждая, что беспричинными явлениями только кажутся, атомисты отвергли случайность. В их картине мира царит сквозная необходимость.

В космологию атомисты внесли идею о множестве миров и их естественном порождении. Мир в целом – это беспредельная пустота, наполненная мирами, которые образованы беспредельным числом атомов самых разнообразных форм. Возникновение миров происходит не беспричинно. Пустота заполнена атомами неравномерно. В той части пространства, где сходится много атомов, они сталкиваются друг с другом и постепенно образуют *вихрь* – кругообразное движение, вследствие чего более крупные и, следовательно, тяжелые атомы накапливаются в центре, а более малые и легкие, округлые и скользкие вытесняются к периферии. Так возникают земля и небо, которое образуют огонь, воздух, светила, гонимые воздушным ветром. В центре космоса (макрокосма) скапливается тяжелая материя. Сжимаясь, она выдавливает из себя воду, которая заполняет низкие места, образуя океан. Каждый мир замкнут, шарообразен и покрыт «хитоном» из крючковатых атомов. Однако число миров бесконечно. Миры преходящи, одни похожи, другие различны. Наш мир – один из многих.

В отношении нашего мира атомисты следуют геоцентрической картине, полагая, что Земля одинаково удалена от всех оболочек космоса, а потому неподвижна. Земля имеет форму диска. Вокруг Земли движутся звезды, которые являются состоянием нашего мира, а не другими мирами. Демокрит не приводит для объяснения вихря никакой другой причины, кроме случая и природной закономерности. Атомы образуют уплотнения в тех или иных местах великой пустоты вследствие беспорядочного движения – случайно, но в дальнейшем все происходит по природной закономерности. На Земле, когда она была влажной, илоподобной, выросли растения, деревья и некие оболочки,

похожие на пузыри, из которых под влиянием Солнца, влаги и воздуха возникли различные животные. Согласно Демокриту, живое происходит непосредственно из неживого и отличается от него наличием большего числа мельчайших, круглых, наиболее подвижных, огнеподобных атомов, образующих душу. В основе учения атомистов о человеке – уподобление человека (микрокосма – малого мира) и макрокосма (большого мира). Сходство заключается, во-первых, в том, что тело человека (и животного) состоит из атомов и пустоты, во-вторых, в природе есть душа и разум (теплота и огонь).

Атомисты отвергли мировой ум Анаксагора, утверждая, что только в атомах и их движении можно усмотреть основания существующих вещей. Даже состояние души, восприятие человеком предметов, а также существование богов Демокрит объяснял соединением и столкновением атомов, откуда следовало, что все в мире подвержено изменению, поэтому Боги, природа, люди, а также их души смертны.

Эпикур, развивая идеи Демокрита, вводит в натурфилософскую атомистическую концепцию представление о случайности событий. Основание этого он видит в постоянном движении атомов, которые, падая в пустоте с одинаковой скоростью, в силу случайности отклоняются от своего пути. Благодаря таким отклонениям образуются миры. Эпikuру принадлежит первая гипотеза о естественном происхождении Земли на основании случайных отклонений в движении атомов. Далее, согласно Эпikuру, на Земле возникли небо и море, родилась жизнь – растения, животные, люди. В натурфилософии Эпикур выделял физику – учение о природе, в которой следовал атомистике, и канонику – учение о познании, в котором роль источника знания отводил чувственным ощущениям.

Соединением атомов Эпикур объяснял не только материальные, но также психические и социальные явления. В Афинах он создал философско-этическую школу, проповедуя в качестве главных жизненных ориентиров знание, отсутствие страданий, здоровье тела и безмятежность духа. В своем этическом учении, получившем в последствие название эпикуреизм, он предлагал особую жизненную стратегию, позволяющую избежать страха (смерти, суеверия, религии и др.), благодаря познанию природы.

Обе концепции (атомистическое учение и элементаризм) своеобразно преломляются в *натурфилософии Платона* (428 – 348 до н.э.). Несмотря на то, что в космологии он утверждает божественный источник космообразования (космос создан Творцом, Демиургом в подражание идеальному образцу), в

отношении природы, которая характеризуется строением вещества, Платон говорит о вещах, которые существуют не в силу какого-то высшего замысла, а возникают и гибнут в силу необходимости. Но в отличие от атомизма, в котором необходимость имеет всеобщий характер, у Платона сфера необходимости сильно ограничена и касается только неживой природы, где все процессы сводятся к взаимодействию и взаимопревращению четырех элементов: огня, воды, земли и воздуха. Общий план мироздания и небесные светила – замысел Демиурга (Творца). В отношении природы роль Демиурга ограничивается оформлением мельчайших структурных единиц. В дальнейшем, как и у Демокрита, все процессы совершаются в соответствии с законом необходимости. Платон создает свою атомистику только для этой сферы необходимости. В современных терминах его концепция элементов (своего рода теория строения вещества) соответствует области молекулярной физики и фазовых превращений. Платон высказывает также *идею атомистической концепции пространства*. У Демокрита атом – не частица материи, а единица бытия. Понятия *материи* еще нет. В учении об элементах Платона идея *материи* только намечена указанием на нечто, обладающее способностью принимать облики огня, воды, воздуха и других стихий. Это нечто было совершенно неясным, новым и темным. Сам термин «материя» появляется только у Аристотеля.

Признавая четыре основных элемента Эмпедокла, Платон не считает их простейшими, далее неразложимыми элементами космоса. По Платону, истинные первоэлементы малы, не видимы, представить их можно в виде геометрической абстракции, поскольку они имеют внутреннюю структуру. Простейшие элементы имеют форму треугольника, сложные - форму многоугольника. Для сравнения приведем формулу воды. Ее пространственная конфигурация в современной химии напоминает треугольник. А углеводороды – сложные элементы органической природы, строятся на основе бензольных колец, имеющих вид многоугольника. Платон высказывает идею о взаимопревращениях природных элементов, предполагая, что сложные элементы меняют свою внутреннюю структуру, распадаясь на более простые. Эта идея до сих пор составляет фундаментальный принцип естествознания. В частности, периодическая таблица химических элементов построена на основе этого принципа. Изменения атомарной структуры приводят к образованию ионов, на этой основе возникают сложные образования – вещества (например, вода представляет собой соединение измененных атомов кислорода и водорода). Изменение ядерной структуры

приводит к распаду атома, превращению его в другой химический элемент (например, радиоактивный распад урана приводит к возникновению?).

Наивысшего развития древнегреческая натурфилософия достигает в трудах ученика Платона Аристотеля (384-322 до н.э.). Аристотель 20 лет учился в академии Платона, отличался склонностью к точным определениям. Ему были хорошо известны все античные учения о природе и те проблемы, которыми занимался сам Платон. Аристотель в своей натурфилософии соединил все основные идеи античности, создав систему понятий, которые стали фундаментальными в развитии научной мысли. Он впервые попытался определить понятие движения, которое оказалось в центре внимания натурфилософии благодаря апориям Зенона и атомистическому учению, ввел такие понятия как *материя, сущность, энергия, взаимодействие, целесообразность*, создал систематическую науку о природе - физику и науку о рассуждении и методе познания – аналитику (или логику). Именно Аристотель впервые назвал физиками всех философов, занимавшихся вопросами строения космоса и поиском природных первоэлементов (фюзис – греч. природа).

В атомизме представления о вещественных телах и их свойствах сводились к геометрическим определениям атома – форме, порядку, положению, принцип, позволяющий понять закономерность взаимодействия атомов, отсутствовал. Сам атом выступает единицей бытия, а не единицей материи, как его привыкли считать позже. У Аристотеля природа (фюзис) сама по себе обладает принципом движения и тем отличается от искусства и геометрии. Аристотель критически переработал наследие своего учителя Платона и натурфилософские представления ранних «физиков», создав совершенно новую логику, новую физику и новое понятие науки в целом. Эмпирическое начало, считал Аристотель, имеет свой особый статус, не может быть сведено к идее (Платон) или числу (пифагореизм) и выведено из понятия, оно обладает непреложностью, которую необходимо принимать во внимание в научном познании.

Научный вклад Аристотеля связан с тем, что он понятийно связал такие уровни умозрительного знания как единое и число с вещественными телами, выстроив содержательно цепочку: *эмпирическое начало (индивидуальное бытие, предмет) – мера единого – сущность – число*. Аристотель вводит понятие «сущность», определяя ее как «ни в чем не находящееся» (ни в одном из телесных вещей или элементов), и связывая сущность с отношением, которое у пифагорейцев и Платона было первичнее самих элементов,

поскольку противоположность (как отношение) есть основание всему. Сущность, по Аристотелю, это третье начало, связующее противоположности, которое пифагорейцы не нашли. Сущность (другое выражение сущности – субстрат) первичнее противоположностей.

В учении о сущности Аристотель выделяет *первичные сущности (индивидуальные вещи)* и *вторичные сущности (роды и виды индивидуальных предметов)*. Именно благодаря введению категории сущность оказывается возможным связать в познании мир вещественных предметов, мир природы и абстрактный мир идей и чисел. Сущность единого, пишет Аристотель в том, что оно известным образом представляет собой начало числа. Поскольку началом является первая мера во всяком роде, то единое является началом того, что может быть познано относительно каждого предмета. У каждого рода есть свое единое (сущность). В одном случае это – наименьший интервал, в другом – гласный или согласный звук; особая единица – для тяжести и другая – для движения.³³ Утверждая, что *единое суть мера, которая выражается числом*, Аристотель придает математическому знанию новый статус познания единого через меру.

Аристотелю принадлежит и первое определение *материи* как основной категории познания природы. Идея материи возникает у Платона как синоним «не-бытия», хаоса, противоположного истинному бытию идей (эйдосов), которое отличается единством, гармонией, постоянством. Платон не определяет материю, но сближает ее с пространством. Чтобы соединить платоновские противоположности «бытие – небытие», неизменное и изменчивое, Аристотель вводит в качестве посредника третье понятие «бытие в возможности», которое известно как аристотелева трактовка материи. Его цель – объяснить изменение, возникновение и гибель всего природного, избежав ситуации, когда возникновение из небытия – случайно.

Следуя платоновской традиции, Аристотель отдает приоритет деятельности (активности), что связано с особым пониманием формы как действительности вещи, по отношению к ее возможности (которое соотносится с материей). Действительность реальных вещей представляет собой завершение активной, целесообразной (оформляющей) деятельности. Материя же представляет их потенциально возможное состояние.

Положение о приоритете действительности над возможностью (формы над материей) – выражение глубокого убеждения Аристотеля в том, что высшее не может само по себе возникнуть из низшего, что из хаоса никогда не

³³ См.: Аристотель. Метафизика, V, 6.

родится Космос, из лишенного смысла – смысл, из материи – форма. Это убеждение Аристотель разделяет с Платоном, а последующая эллинская и средневековая наука - с Аристотелем.

Понятие движения. Проблему мысленного представления движения, его неопределенность, которую подчеркивали элеаты и Платон, Аристотель связывает с тем, что *движение* нельзя поместить ни в число потенций предметов, ни в число их энергий. Он определяет *движение как переход от потенции к энергии*, от возможности к действительности, поэтому оно всегда совершается «от - к», т.е. *имеет вектор направления*. Эта общая черта и позволяет познавать движение. Аристотель выделяет виды движения – качественное изменение, рост и убыль, возникновение и уничтожение, а также перемещение, подчеркивая, что общим для всех видов движения будет «энтелехия существующего в потенции»: характер движения зависит от характера движущего.

Стремясь найти решение парадокса бесконечности, выявленного в апориях Зенона, Аристотель вводит понятие *континуум* (непрерывное). Учение о континууме служит основанием для создания науки о движении. Именно эта часть аристотелевской физики никогда не оспаривалась и даже не ставилась под сомнение в Новое время и в современном естествознании. Принцип непрерывности – фундаментальный принцип, на который опирались в основных допущениях Галилей и Ньютон, а также вся математика.

Непрерывность понимается Аристотелем как определенная форма связи состояний, отличная от последовательности и смежности. Непрерывными могут быть как предметы, так и движения. Чтобы движение было непрерывным должны выполняться три условия: 1) единство (тождественность) вида движения (только перемещение, или только качественные изменения и т.п.), 2) единство движущегося предмета, 3) единство времени. Смежные и последовательные вещи непрерывны только по времени. Если наступает покой, то следует говорить о нескольких движениях. В непрерывном «крайние концы образуют единое и касаются» (Физика, VI, 1, 231а), поэтому непрерывное не может состоять из неделимых частей. Возражая Зенону, Аристотель подчеркивает, что «по неделимому пути ничто не может двигаться, а сразу является продвинувшимся». Движение при таком условии перестает быть процессом, становится суммой результатов. Движение «будет состоять не из движений, а из моментальных перемещений и продвижений чего-нибудь не движущегося... возможно будет прибыть куданибудь, никогда не проезжая пути: проехал его не проезжая» (Физика, VI,

232а). Поэтому непрерывность, по Аристотелю, является условием возможности самого процесса движения.

Однако идея непрерывности не решала проблемы начала движения, которая предполагала прерывность. Устранив эту сложность, Аристотель сформулировал *положение о непрерывности пространства и времени*: «нет ничего первого», «ни в том, что изменяется, ни во времени, в течение которого оно изменяется» (Физика, VI, 5, 236а).

Физическая концепция Аристотеля. На основании понимания движения, соотношения формы и материи Аристотель сформулировал первый в истории предмет физики как особой науки о формах движения тел. Аристотель свел все виды движения к перемещению, считая, что качественные и количественные изменения предполагают перемещение как свое обязательное условие. Так, пища, чтобы усвоиться, должна пройти по пищеводу. *Перемещение* выступает как движение, которое свойственно и опосредует все остальные виды движения. Отсюда попытка понять самое первое перемещение (идея Первовдвигателя) и построить иерархию перемещений в наблюдаемом физическом мире.

В физике Аристотеля формы движения делились на совершенные (или круговые движения, для которых характерно постоянство и бесконечность) и несовершенные (или конечные движения). Несовершенные формы движения, согласно Аристотелю, делятся на естественные, которые совершаются сами по себе (например, падение тел на землю) и насильтственные, когда движение происходит под влиянием или воздействием других тел.

Учение Аристотеля о формах движения легло в основание первой физической картины мира, которая не подвергалась изменению вплоть до XVI в. Согласно Аристотелевой физике, в центре космоса находится Земля, поскольку именно к центру Земли направлены все естественные (конечные) формы движения. Совершенные формы движения присущи небесным телам, первопричина их движения – Бог, который понимается как Первовдвигатель. Совершенное движение происходит по кругу. Несовершенные движения имеют не круговой путь. Так в физике Аристотеля утверждалось, что равномерное движение – насильтственное, поскольку отличается от естественного падения.

В картине мироздания Аристотель выделил 4 причины: формальную, материальную, действующую и целевую. Физика, согласно Аристотелю, раскрывает действующую причину. В современном естествознании идеал научного объяснения на основе выявления причинной связи дает физика. У

самого Аристотеля философия природы опирается на примат целевой причины, учение о форме как основном факторе движения и развития мира. Целесообразность – основной принцип живой природы. Аристотель пытался осознать ее всеобщность. В наше время учение о целевой причине Аристотеля и учение о форме просматриваются в современных представлениях о генетическом коде.

Аристотелю принадлежит *первая методика научного исследования* природы, в которой он выделил три важнейших этапа: 1) отнесение исследуемого предмета (явления) к некоторому общему роду (метод - классификация); 2) выяснение его строения, формы и источника движения, а также целей (метод - анализ); 3) формулирование понятия идеального объекта – эталона определенного рода вещей (метод - идеализация).

С именем Аристотеля связана *идея непрерывности материи*. Он отрицал пустоту, полагая, что пространство (аналог пустоты) непрерывно по протяженности, а время – по последовательности. В натурфилософии Аристотель развивал элементаризм, отвергая пустоту и полагая, что каждая из стихий является носителем двух свойств из четырех – влажности и сухости, тепла и холода. Воздух – теплый и влажный, огонь – сухой и теплый, земля – сухая и холодная, вода – влажная и холодная. В тоже время Аристотель с понятием элемента связывает некоторые «предельные части», на которые разлагаются все тела. Эти части, далее не делимые, отличаются друг от друга «по виду». Поэтому помимо известных уже четырех элементов Аристотель вводит пятый элемент – «сущность». Именно благодаря различиям в сущности, вещи качественно отличаются друг от друга. В Средние века этот элемент стали называть «квинтэссенцией» (quinta essentia – лат. пятая сущность). В космологии самого Аристотеля пятый элемент – это особое совершенное вещество *эфир*, из которого состоят звезды.

Аристотель представил космос как мир конечный в пространстве и состоящий из кристально прозрачных сфер, несущих звезды и планеты. Движение этих сфер наблюдается с земли как движение планет и звезд. Неподвижная Земля имеет форму шара и занимает центральное положение. Область между орбитой Луны и Землей характеризуется беспорядочным движением, подвержена постоянным изменениям и превращениям. Формы движения тел в этой области несовершенны, конечны, а сами тела состоят из четырех элементов: земли, воды, воздуха и огня. Земля занимает центральное место во Вселенной как самое тяжелое тело. Над ней располагаются оболочки воды (сравни - гидросфера), воздуха (атмосфера) и огня (ионосфера). Область

между орбитой Луны и крайней сферой – область равномерных движений. С крайней («внешней») сферой соприкасается «Перводвигатель Вселенной».

В своей натурфилософии и космологии Аристотель не признает ни начала, ни конца мира, считая, что ни время, ни движение не могли иметь начала, также как никогда не будут иметь конца.

Категории, которые ввел Аристотель, составили круг основных мировоззренческих категорий научного знания.

Систематизируя знание, сложившееся в Античном мире, Аристотель ввел *пер первую классификацию наук*, к которой восходит структура науки в современном мире. Согласно Аристотелю, в античном мире сложились:

- наука о движении тел и природных явлениях, ее он назвал *физикой*; это название сохраняется до сих пор, именно Аристотелю принадлежит первая система физики как науки о формах движения;
- наука о скрытых сущностях – *метафизика* (мета – греч. за пределом..., метафизика дословно означает «за пределом наблюдаемых физических явлений»); в европейской культуре метафизика обозначает чисто умозрительные дисциплины, положения которых не всегда возможно соотнести с опытом, развивается как теология, богословие, философия;
- наука о рассуждении и методе обоснования – *аналитика*; в современной структуре наук – *логика и методология*;
- наука об обществе – *политика*;
- наука о душе – *психология*;
- наука о добродетели – *этика*.

2.2 Античная наука в эпоху эллинизма

В конце IV в. до н.э. Греция потеряла свою самостоятельность под натиском Македонских царей. В 332 г. до н.э. Александр Македонский основал новый город в Египте – Александрию. Выгодно расположенный географически, город быстро стал одним из крупных торговых и ремесленных центров. В связи с упадком Афин после смерти Александра сюда переместился центр научной мысли древнего мира. Афины еще долго оставались центром философских школ, но оформившиеся к этому времени науки нашли более благоприятную почву для своего развития в столицах новых государств, возникших после распада империи Александра Македонского. Центром научного знания стала Александрия - столица эллинизированного Египта, где после смерти Александра и вплоть до II в. н.э.

правила греческая фамилия Птолемеев. Здесь была создана знаменитая библиотека и основано первое в истории специальное учреждение, где обучали известным в то время наукам и занимались различными исследованиями – Мусейон (прототип нынешней академии наук). Ученые жили при Мусейоне, получали государственное жалованье, достаточное для того, чтобы полностью посвятить себя научным занятиям.

Античная наука Александрийского периода – явление вполне самостоятельное, которое характеризуется интересом к предмету исследования безотносительно к каким-либо философским учениям. В эллинистическом Египте, где религиозные воззрения отличались синкетичностью, произошло соединение античной науки и традиционного культа жрецов, в последствие этот симбиоз вылился в такие явления средневековой науки и культуры, как астрология и алхимия.

Расцвет Александрийской науки приходится на III-I вв. до н.э. связан с именем Евклида - создателя современной геометрии, жившего в Александрии в III в. до н.э. В своем труде «Начала», состоящем из 13 книг, Евклид обобщил достижения древнегреческих ученых-математиков. По «Началам» Евклида, систематизировавшим основу античной математики, до сих пор школьники изучают геометрию. Евклид внес существенный вклад и в развитие физики, заложив основание геометрической оптики. Исследуя распространение прямолинейного луча света, он сформулировал закон о равенстве углов падения и отражения, описал отражение от плоских, вогнутых и выпуклых зеркал.

В Александрийской школе высказывается идея гелиоцентрического строения космоса. Этому предшествует учение пифагорейцев и Гераклида Понтийского (4в. до н.э.), ученика Платона, который искал объяснения странному поведению планет, которые для земного наблюдателя то движутся вперед, то останавливаются, то отступают назад. Если допустить, что все планеты врачаются вокруг Земли, то самым странным образом ведут себя Венера и Меркурий. Они находятся между Землей и Солнцем, но нам вовсе не кажется, что они движутся вокруг Земли. Гераклид объяснил такое поведение вращением этих планет вокруг Солнца, но продолжал утверждать, что Солнце вращается вокруг Земли.

Оформление гелиоцентрической идеи в астрономии связано с именем Аристарха Самосского, который жил в Александрии в период царствования первых двух Птолемеев (с 310 по 230 гг. до н.э.). Из многочисленных работ Аристарха сохранилась до нашего времени только одна «О величии Солнца и

Луны и о расстоянии между ними», в которой он утверждал впервые в древнем мире, что Солнце много больше Земли, примерно в триста раз (в действительности - в миллион триста раз). В его гелиоцентрической системе, которая известна со слов Архимеда и Плутарха, Земля – одна из планет, движущихся вокруг Солнца. Земля вращается вокруг своей оси и делает один оборот вокруг Солнца за 1 год. Солнце – неподвижная звезда. По мнению Аристарха, между Солнцем и Землей имеется огромное расстояние, но еще более значительное расстояние между Солнцем и другими звездами, которые тоже неподвижны. Аристарх давал этому такое геометрическое доказательство: между двумя точками, достаточно удаленными друг от друга, на Земле можно было бы построить основание треугольника, вершиной которого было бы Солнце; такое построение со звездами было бы невозможно, поскольку основание треугольника явились бы ничем по отношению к практически бесконечной высоте. Система Аристарха и система Коперника почти полностью совпадают. И это не случайно. Коперник был хорошо осведомлен обо всех астрономических учениях древности. В своей основополагающей работе «О движении небесных сфер» Коперник цитирует Филолая, Гераклида, Аристарха, добавляя, что именно эти взгляды заставили его самого подумать о вращении Земли.

Гипотеза Аристарха настолько противоречила признанному учению Аристотеля, непосредственному опыту и религиозным культурам, что вызвала много возражений и нападок вплоть до требования возбудить процесс против Аристарха за то, что он представил Землю в движении, поскольку нельзя представить в движении то, что по природе неподвижно. Возражения Аристарху высказывал Архимед, а позже известный в поздней античности астроном Гиппарх, который выполнил большую работу по составлению звездной карты, которая включала более 850 звезд. Гиппарх утверждал, что необходимо считаться теми фактами, которые мы наблюдаем.

Можно сказать, что именно в связи с гипотезой Аристарха был сформулирован принцип, вошедший в науку как принцип эмпирической проверяемости гипотез: *недостаточно создать гипотезу, нужно убедиться, соответствует ли она фактам*. Гиппарх, пробуя объяснить гипотезу Аристарха, установил «ошибки» в движении планет. Позже в XVIв. на том же основании Копернику возражал Тихо Браге. Гелиоцентрическая система казалась невероятной до тех пор, пока Кеплер не открыл, что орбиты планет эллиптические, а Солнце находится в одном из центров эллипса. Но это случилось гораздо позже. В Александрийской натурфилософии идея

Аристарха осталась непризнанной. Много значил авторитет Аристотеля, сторонника неподвижности Земли. Поэтому в поздней античности утверждается геоцентризм.

После Гиппарха в античной астрономии конца II в. до н.э. открытий не было. Научная астрономия не интересует римлян, господствующих в Европе и Египте. С этого времени астрономия надолго уступает место астрологии, которая пришла из Персии и Вавилона и в эллинистическом мире математиков, астрономов и ученых приобрела облик псевдонаучный.

В Александрийский период развивается эллинская медицина, основанная Гиппократом (ок. 460-377 гг. до н.э.) как опирающееся на опыт исследование, цель которого обеспечить здоровье и продлить подвергшуюся опасностям жизнь человека. В самой Греции вскрытие тела после смерти было строго запрещено. Чтобы представить себе работу человеческого организма, Аристотель вскрывал в большом количестве животных. В Египте, имеющем тысячелетние традиции бальзамирования, для ученых было отменено запрещение анатомирования. По свидетельствам, первый преподаватель Мусейона, Герофил сопровождал свои лекции по медицине публичным вскрытием человеческих трупов. Воспитанный на строгом методе точных научных знаний учеником Аристотеля – Стратоном, он полагал, что не может сообщать о том, чего сам не видел. Согласно Тертуллиану, Герофил произвел публично более шестисот вскрытий. Его труд «Anatomica» был утрачен, однако известно, что он стал отличать артерии от вен, первый признал, что они наполнены кровью, изучил печень, поджелудочную железу, органы размножения, сердце и систему кровообращения. Считая пульс главнейшим элементом диагностики, Герофил измерял его с помощью водяных часов, различил в биении сердца четыре фазы: систолу, диастолу и два промежуточных интервала. Герофил открыл нервную систему, тщательно исследовал зрительный нерв и сетчатку. Выделив головной мозг как центр нервной системы, он много сделал для его изучения, а также установил различие между чувствительными нервами и сухожилиями, соединяющими мышцы и кости (в греческой медицине они обозначались одним словом как нервы) и ввел анатомическую терминологию. Известно, что его трактат, предназначенный для повивальных бабок, улучшил практику помощи при родах. Современник Герофила Эрасистрат создал свою школу медицины, которая пользовалась также большой известностью во II в. до н.э. Именно у Александрийских врачей появилась и стала развиваться практика анестезии.

Обезболивания достигали, натирая соком мандрагоры часть тела, предназначенную для операции.³⁴

В это же время жил *Архимед* (287-212 гг. до н.э.), легендарный ученый и инженер. Создав модель астрономической сферы, Архимед считал равноправными две точки зрения: геоцентрическую, которая опиралась на физику Аристотеля, и гелиоцентрическую, выдвинутую Аристархом. В математике Архимед решил ряд задач, связанных с определением площади и объема криволинейных фигур, вычислил пределы числа π , подсчитал, что количество пылинок во Вселенной составляет 10^{83} . Математический метод Архимеда, связанный с работами пифагорейцев и Евклида, содержал в себе предвидение метода интегрального исчисления, который был найден только двадцать веков спустя. В физику Архимед ввел понятие центра тяжести, разработал методы его определения, сформулировал правила рычага, основал новый раздел физики - гидростатику, сформулировал известный каждому школьнику закон о плавании тел: «на каждое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости».

Механика Архимеда широко применялась в античном мире при проверке изделий из драгоценных металлов и определении грузоподъемности кораблей. Архимед был выдающимся инженером. Его технические изобретения: устройство для подъема воды, различные системы рычагов, военные метательные машины, - с успехом использовались в войне с римлянами. Во время второй Пунической войны Архимед возглавлял оборону Сиракуз, своего родного города. Когда Сиракузы все же были взяты, Архимед погиб от руки римского солдата.

В античном мире Архимед был легендарной личностью, однако его наследие было оценено по достоинству лишь через полторы тысячи лет, в эпоху Возрождения. Архимед одним из первых создал учение о методах рассмотрения и решения задач, выдвижения и обоснования гипотез с помощью упрощенных представлений (моделей). В труде «Стомахион» он описал способы создания новых технических объектов из известных элементов. Позже Папп Александрийский (III в. н.э.), обобщив труды античных математиков, в частности способы работы Евклида в поиске доказательств, обозначил методы, отличные от чисто логических, словом «эвристика».

³⁴ Боннар А. Греческая цивилизация. Книга третья.: От Еврипида до Александрии. Ростов-на-Дону, 1994..

У Архимеда было много учеников. Живший во II в. до н.э. александриец Ктесибий присоединил к изобретениям Архимеда зубчатое колесо, создал на его основе счетчик оборотов (предок современного спидометра). С помощью системы зубчатых колес он улучшил водяные часы, они стали бить и приводить в движение фигурки. Потом он занялся изобретением гидравлического насоса и его применение. Один из учеников Ктесибия был в свою очередь учителем Герона Александрийского (между 150 и 100 г. до н.э.) самого выдающегося после Архимеда ученого своей эпохи. Герон вел теоретическую работу и стоял во главе основанной им в Александрии школы инженеров, которая стала прообразом политехнической школы. В ней отвлеченные курсы по арифметике, геометрии, астрономии, физике велись параллельно с практическими курсами – работой по дереву и металлу, конструированию машин и архитектуре. Герону принадлежат открытия по гидростатике, среди них знаменитый «фонтан Герона» (игрушка), изобретение геодезического прибора – диоптра, открытие свойств пара. Фактически Герон изобрел первую паровую машину (эолипил – Эолов мяч, ветроиспускатель). В эллинистическом мире были популярны разного рода механические игрушки. Герону принадлежит труд «Изготовление автоматов», где он описывает использование паровой машины для того, чтобы заставлять танцевать в круге марионеток, чтобы открывать двери в храме без помощи людей, чтобы показывать фигурки, которые «ходят сами по себе».

Геоцентрическая система мира Клавдия Птолемея (ок. 90 – 168 гг. н.э.), подвела итог состоянию античной астрономии, определив ее дальнейшее развитие на тысячелетие. Постулаты, сформулированные Птолемеем, представляли мир следующим образом:

- Шарообразная Земля неподвижна и находится в центре небесного свода.
- Небосвод имеет сферическую форму, вращается вокруг Земли, делая 1 оборот в сутки.
- Планеты и Солнце вращаются вокруг Земли по окружностям с постоянной скоростью.

Труд Птолемея «Математическая система», или «Великое математическое построение» (арабское название «Альмагест») содержала расчеты траекторий движения звезд и планет. Бурные события последующих веков, которые ознаменовались захватом Александрии римлянами, а затем арабами (ок. 640 г.н.э.), концом династии Птолемеев в Египте, не способствовали развитию науки, греческий оригинал сочинения Птолемея был утерян. В начале VIII в. власть арабов распространилась от Гибралтара до Индии. Научно-практические знания античного мира сохранились и были восприняты мыслителями арабского Востока. Примечательно, что сохранился только арабский перевод труда Птолемея, который вошел в европейскую культуру

под своим арабским названием «Альмагест» и уже в XII в. был переведен на латинский язык.³⁵ Постулаты Птолемея с некоторым ограничением легли в основу христианского мировоззрения. После Александрийского периода научное знание в Европе развивается в рамках христианской теологии.

Идея Аристотеля о противоположности земного и небесного движения легла в основу религиозного мировоззрения, определявшего горизонты культуры и натурфилософии в последующие 10 веков европейской истории. Учение о взаимном превращении элементов и учение Аристотеля о пятой сущности первыми стали применять и развивать алхимики. Эти идеи античной натурфилософии, составив основу главного учения алхимии – учения о *трансмутации*, положили начало химическим опытам и экспериментальным поискам способов получения золота из неблагородных металлов.

3. Наука в средние века

После Александрийского периода научное знание в Европе развивается в рамках христианской теологии, главная проблема которой – соотношение естественного порядка вещей и божественного всемогущества (догмат о сотворении Богом мира из ничего).

Античное наследие, которое получила европейская мысль к началу новой эры, включала: атомистическое учение Левкиппа –Демокрита, пифагорейскую и Евклидову математику, учение Платона, физику и натурфилософию Аристотеля, геоцентрическую систему Клавдия Птолемея, механику и гидростатику Архимеда и его учеников, пифагорейскую и Александрийскую медицину. Идея Аристотеля о противоположности земного и небесного движения легла в основу религиозного мировоззрения, определявшего горизонты культуры и натурфилософии в последующие 10 веков.

Учение о взаимном превращении элементов и учение Аристотеля о пятой сущности первыми стали применять и развивать алхимики в учении о *трансмутации*, положив начало химическим опытам и экспериментальным поискам способов получения золота из неблагородных металлов.

Христианская мысль внесла ряд уточнений в области математики, оптики (как раздела математики), соединила физику с механикой, создала новые понятия и методы исследования. В отличие от античности, где почитались два источника знания: чувства и разум (с приоритетом разума, умозрения), христианская теология выдвигает положение о трех источниках знания, дополняя опыт чувств и разум *откровением*, засвидетельствованным в

³⁵ «Альмагест» Клавдия Птолемея был переведен на латинский язык Герардом Кремонским в 1175г.

священных текстах. Утверждается *догмат о достоверности чувств (ощущений) и достоверности священных текстов* (Августин).

Первое достижение средневековой мысли связано с сакрализацией природы, изменением ее онтологического статуса. Для антиков мир природы - безусловная реальность, для язычников «мир и есть Бог». В христианской теологии «Мир есть чудо» (Августин). Бог творит мир, и поэтому мир есть Бог.

Второе достижение связано с изменением отношения человека к миру. В античности (платонизме и неоплатонизме) мир воспринимается и понимается как живое существо, обладающее душой. Августин выдвигает *догмат о подчиненном положении природы*. Человек создан Богом, чтобы повелевать стихиями, быть господином природы. Изменение статуса природы повлекло за собой изменение отношения к науке о природе. Естествознание теряет самостоятельное значение в средние века и рассматривается либо только с точки зрения практической пользы (поэтому наибольшего признания и развития достигают астрология и алхимия), либо чисто символически (развивается логика и математика). Согласно Августину, проповедь научного знания – мирская суета, несмотря на то, что оно заключают в себе истину. Эта установка характеризует отношение к науке на протяжении VI-Xвв.

В средневековье утверждается мировоззренческая позиция: *все, что наблюдаем – иллюзия, видимость*. Вселенная и все, что мы видим – лишь символическое выражение божественного, трансцендентального замысла. Каждое явление во всем своем многообразии определений – проявление некоего общего замысла. Задача познания – постижение потустороннего значения каждой из деталей мироздания, ее роли в божественном замысле. Каждая вещь – символ. Ни одно явление не открывает само себя, а только указывает на иной, высший, «потусторонний» смысл.

Поэтому *цель естествознания в средневековой традиции – не описание явления природы, а ее символическое истолкование*. В качестве принципа объяснения явлений выступает указание на цель, которая также неясна. Разрабатывается телеологическая модель объяснения, которая полностью заменяет поиск естественных действующих причин, что было характерно для античной натурфилософии и физики.

В средневековье формируется *понимание человека как активного субъекта действия* (наделенного определенной свободой), правда в религиозно-нравственных рамках. Сосредоточенность средневекового мышления на понятии воли подготовила поворот к новому пониманию

отношений между субъектом и объектом познания, который характерен для науки нового времени. В античности научное познание – это пассивное созерцание объекта (созерцание умом, умозрение, или чувственное созерцание). Христианская теология, совмещая понятие интеллектуальных добродетелей с благом, расширяет круг интеллектуальных действий: помимо созерцания в качестве особых форм выделяются «познание» (*cognitio*) и «видение» (*visio*).

Позже, в новое время научное познание выступает как конструирование объекта (построение теории, мысленного или практического эксперимента). Такой радикальный поворот в понимании субъекта познания (человека) был подготовлен в течение долгого времени, и важную роль в этой подготовке сыграло христианское учение о природе, созданной Богом из ничего и о человеке как активном субъекте действия, наделенном свободой воли и сверхприродными полномочиями. Переосмысление природы и человека в средневековой теологии принесло свои плоды для науки лишь после того, как христианская идеология стала терять свою тотальную власть над умами.

В средневековье формируется *новое отношение к человеческому труду*. Ручной труд стал осознаваться не только как средство получения хозяйственных результатов или умерщвления плоти, но и как форма служения Господу. Такой поворот во многом связан с трудом монаха. Уважение к работающему монаху изменило ценность труда и отношение к труду ремесленника и крестьянина. Возникло стремление – облегчить труд человека (не раба) с помощью природных сил. К числу изобретений средневековой техники можно отнести: введение трехпольной системы земледелия, использование тяжелого плуга, усовершенствование рыцарского оружия. Главным местом технического развития в XIIIв. стали монастыри, которые были своего рода фабриками по производству полезных продуктов, а также лабораториями, где обучались и экспериментировали. Возникает особое отношение к опыту, который дает совершенное знание, обладает преимуществами перед другими науками и удивительной пользой. Немаловажную роль в становлении средневековой *опытной науки* сыграла алхимия.

Следствием этого выступило новое отношение к технике, практике, опыту, что сыграло важную роль в соединении физики (науки о природе) с механикой, которая в античном мире имела статус ремесла. В античности противопоставлялось *естественное и искусственное* (созданное человеком). Физика, согласно античным авторам, рассматривает природу вещей, их

сущность, свойства, движения так, как они существуют сами по себе. Механика (с греч. орудие, приспособление, ухищрение, уловка, синоним – техника) – искусство, позволяющее создавать инструменты для осуществления действий, которые не могут быть произведены самой природой. Античная механика – не часть физики, а особое искусство построения машин, которое не может добавить ничего существенного к познанию природы, ибо направлено на изобретение того, чего в природе нет, а вовсе не на познание того, что в ней есть. К механике относили искусство нахождения равновесия и центра тяжести и вообще всякое искусство приводить материю в движение. Греческое слово *μηχανη* (также как его латинский аналог *ingenium*) первоначально переводилось на славянский как «хитрости», а *μηχανηκος* - как «хитрец».

В средневековой теологии высказывается идея первотолчка, с помощью которого Бог привел мир в движение (Ж.Буридан). Постепенно распространяется представление, что мир – машина в руках Бога. Ученые XVIIв. (Декарт, Ньютона, Лейбница) исходят из того, что природа как творение Бога - машина мира (*mobile mundi*). Изменение статуса механики в средние века имело принципиальное значение для развития науки. Изобретенные человеком инструменты стало возможным рассматривать не как нечто инородное по отношению к природе (искусственное), а как однородное с природой, тождественное ей. Только в этом случае открывалась возможность видеть в опыте и эксперименте средство познания природы. До этого любой опыт, эксперимент был только ухищрением, фокусом, который демонстрируют искусные «ингенеры», но который не имеет отношения к познанию природы.

Другой предпосылкой появления экспериментального знания было создание условий для точного измерения. В античности и в средние века считалось, что точные измерения не возможны там, где присутствует материя. Математика как точная наука имела дело только с идеальными объектами, а не природными. Даже астрономия не признавалась точной наукой из-за погрешностей. Стремление устранить эти погрешности – породило движение к математизации физики, которое завершилось созданием математических методов описания движения. Не случайно у истоков науки в эпоху Возрождения стояли астрономы – Коперник, Кеплер, Галилей.

Со второй половины VIIIв. набольший расцвет науки наблюдался на Ближнем Востоке. Арабским ученым была знакома книга Птолемея, были переведены «Начала» Евклида и сочинения Аристотеля. Одним из

основоположников аристотелизма на Востоке был ученый-энциклопедист аль-Фараби, Абу Наср ибн Мухаммед (870-950). Он прокомментировал все произведения Аристотеля, получив прозвище «Второй учитель» (после Аристотеля). Помимо этого ему принадлежит около 100 сочинений по истории наук и философии.

Наибольшие успехи средневековая арабская наука достигла в химии, опираясь на материалы Александрийской школы алхимиков Ів. и персидских школ. Главной натурфилософской проблемой в этот период было строение металлов и их взаимопревращения. Позднее, благодаря испанским маврам, эти знания проникают в Европу. В XIв. переводы арабских текстов стали основанием нового развития европейской науки.

Интеллектуальный центр Востока в IX-X вв. – Средняя Азия, народы которой освобождаются от власти Арабского халифата. Большое развитие получают естественные науки. Родоначальниками естественнонаучной мысли в Средней Азии считаются известный астроном и математик аль-Фергани (IXв.) и Мухамед бен Муса аль-Хорезми (790-847), математик, астроном и географ, написавший знаменитую книгу «Аль-джебри» по исследованию математических уравнений. Обобщив индийскую, греческую и арабскую математику, аль-Хорезми создал новую область науки, которая положила начало современной алгебре. Имя этого ученого увековечено в слове «алгоритм», представляющем собой латинскую транскрипцию арабского имени. Большую роль в истории астрономии и математики сыграли также сочинения Аль-Хорезми «Астрономические таблицы», «Трактат о солнечных часах», «Изображение земли», которые были переведены на латынь.

Начиная с XIIв. в Европе возникают университеты (Парижский, Болонский, Оксфордский, Кембриджский), в которых наряду с богословием изучаются математика и механика. В Парижском университете XIIIв. развивалось учение о равновесии простых механических устройств, была решена задача равновесия тела на наклонной плоскости. В Оксфордском университете XIVв. разрабатываются математические методы описания природы. Наиболее значительный труд этого времени – трактат «О пропорциях». Его автор – Томас Брадвардин (1290-1349) – предшественник И.Ньютона в становлении точного естествознания.

Интерес к естественнонаучному знанию возрастает в XIIв. вместе с распространением технических изобретений. Начиная с этого времени, средневековые схоласты (официальные философы) переводят на латынь (с греческого и арабского) и переосмысливают ряд произведений Аристотеля,

которого в средневековом мире именовали «Философ». ³⁶ Арабские переводы Аристотеля содержали комментарии восточных ученых. «Физика» была снабжена комментариями Аверроэса. Ее перевод способствовал распространению определенного свободомыслия в мировоззренческом плане, которое преследовалось официальной церковью как еретическое.

Изучение работ Аристотеля открывало новый подход к анализу фактов, ориентировало на новую модель объяснения явлений. Христианской теологии стоило немалого труда истолкование учения Аристотеля таким образом, чтобы оно не противоречило христианским доктринальным догматам. Эта задача была успешно решена Фомой Аквинским и настолько основательно, что принципы Аристотеля стали ассоциироваться с ортодоксальной доктриной католической церкви. И все, кто оказывался в оппозиции, видели своего главного противника в Аристотеле. Тем не менее, натурфилософия христианского Запада начинается именно с переосмысления трудов Аристотеля в XII-XIIIв.

Естествознание начинает свой путь в Новое время с противостояния науки (философии) и религии (богословия), с утверждения *принципа двойственной истины*, требующего признания прав «естественному разуму» наряду с христианской верой, основанной на откровении.

Зашитники прав естественного разума в средние века (Сигер Брабантский, Альберт Великий) признавали за знанием, добытым с помощью естественного разума статус вероятного, полагая, что знание, полученное из опыта, не обладает безусловной достоверностью. Поэтому все здание аристотелевой физики и естественных наук обладает лишь относительной, а не абсолютной достоверностью. Учение Аристотеля о вечности мира можно допустить только как рассуждение по «естественной логике». Именно на таких основаниях рассуждение естественного разума («по естественной логике», т.е. по логике природы) получило право гражданство в официальной науке средневековья.

Результатом признания двойственной истины стало возникновение двух принципиально различных картин мира: одна картина для верующего христианина, которая опирается на откровение, другая – для натурфилософа, которая подтверждается опытом и индукцией (рассуждением). Первая признавалась как более очевидная, вторая – как вероятная. В последующем

³⁶ Переводы с греческого на латынь работ Аристотеля «Топика», обе «Аналитики», «Физика», «Метафизика», «О душе» связаны с именем Якова Венецианского и Генриха Аристиппа (из Палермо). Параллельно в Толедо при дворе епископа Раймунда работает группа переводчиков с арабского, в частности, Герард Кремонский.

развитии европейской мысли естественный разум будет сначала поставлен наравне с откровением, затем в эпоху Возрождения - выше откровения.³⁷

Средневековые ученые широко обсуждают вопрос о «воображаемых допущениях», порожденный столкновением двух разных подходов к миру: с точки зрения естественного разума, и с точки зрения веры в сверхприродного Бога. Совмещение идеи конечного замкнутого космоса с бесконечностью божественного всемогущества приводит схоластику XIVв. к удивительным следствиям. Новым содержанием наполняется понятие «пустоты». Поскольку Бог творит мир из «ничего» и Бог вездесущ, то он присутствует не только в мире и сотворенных вещах, но и в пустоте, где кроме божественного присутствия нет ничего. Вездесущность Бога предстает как *возможное, или воображенное бесконечное пространство*.³⁸ Таким образом, в средние века пустота получает значение физического эквивалента того «ничто», из которого Бог творит мир.

Средневековые физики называли воображаемым пространство, которым оперировала геометрия, следуя традиции поздней античности трактовать геометрические объекты как «гибрид» ума совместно с воображением. Теологическое понятие божественной бесконечности вместе с геометрическим понятием пространственной бесконечности привел к созданию парадоксальной концепции реальности воображаемого пространства, пустого, подлинно осуществленного ничто. Старый космос предстал перед человеком «как помещенный в ничто, окруженный ничто и насквозь этим ничто принизанный» (А.Койре). В последствие у И.Ньютона существование пустоты отождествляется с реальностью абсолютного пространства (вместилища мира).

За 1000 лет средневековья тотальное влияние церкви на духовную и социальную жизнь изменило отношение человека к природе и к самому себе, создав мировоззренческие предпосылки нового стиля познания природы. Возникает целый ряд понятий и принципов: понятие пустоты, бесконечного пространства, бесконечного движения (прямолинейного), требование устраниТЬ из объяснения природы целевую причину, ограничиться только действующей (физической). В учении Григория Нисского, в частности, *мир материальный представлен как процесс взаимодействия сил, нематериальных*

³⁷ Предвидя такие последствия, церковь в лице епископа Этьена Тампье в 1277г. осудила всех признавших двойственность истины. Для теологии декрет парижского епископа имел известное значение, но в отношении естественных наук, прежде всего космологии, его значение было ослаблено активным противостоянием доминиканцев, которые благодаря Фоме Аквинскому закрепили авторитет Философа (и естественного разума) на несколько столетий вперед, вплоть до конца XVI в.

³⁸ Гайденко П.П. Эволюция понятия науки. С.465.

по своей природе. Их творит всемогущая божественная воля. Эти силы у Жана Буридана уже выступают в качестве «деятелей» - орудий божьей воли. Так, в схоластической физике всякая действующая причина оказывается, в конечном счете, механическим средством осуществления идей, содержащихся в божественном уме.

4. Натурфилософия и наука эпохи Возрождения.

Эпоха Возрождения начинается со второй половины XVв., когда в Западной Европе происходит ряд социально-экономических изменений, которые сопровождаются переменами в умонастроениях, в отношении к человеку, ремеслам и наукам, а также к античному наследию. Во Франции это – период Ренессанса, в Германии – период Реформации. Итальянцы называют это период Чинквеченто. В процессе отделения государства, науки, искусства, образования от материально-экономической и духовной власти церкви наука и искусство (в частности, ремесло) обретают светскую материальную базу в лице меценатов и государей. Это сказывается на отношении к ученому, художнику, инженеру и вообще к человеку.

Эпоху Возрождения характеризует стихийное самоутверждение человеческой личности в ее творческом отношении ко всему окружающему и к самой себе. Возрожденческий гуманизм подчеркивает, что человек – не просто природное существо, он творец самого себя и этим отличается от других живых существ. Более того, он способен сотворить и природу, и светила, если найдет соответствующий материал и орудия.

В европейском сознании утверждается установка, что для человека нет ничего невозможного. Благодаря этой установке снимается проведенная в античности граница между *естественным* (нерукотворным) и *искусственным* (рукотворным), между наукой и практическими искусствами (художеством, ремеслом, архитектурой, строительством, механикой). Инженер и художник эпохи Возрождения не просто *искусник* («хитрец», τεχνιτης), он – творец, усматривающий природный закон построения вещей.

Особенности развития науки в эпоху Возрождения связаны с появлением новой социальной среды, новых школ и университетов. Возникает немногочисленный слой людей, единственным занятием которой является выполнение гражданских и военных сооружений. Такие умельцы ценились королями, герцогами, горожанами, черпали свои знания и методы расчетов из математики и механики. На смену традиционному ремесленному цеху

приходит инженерная деятельность, опирающаяся на науку, а природа начинает рассматриваться как объект практической деятельности, подчиняющейся законам самой природы.

Появляются инженеры-самоучки, которые руководят и сами устанавливают сооружения (насосы, водяные и ветряные мельницы, чинят фонтаны и механизмы). Эти люди, расширяя свои знания и распространяя их, занимают важное место в обществе, выполняя функции учителей, организаторов научно-художественно-ремесленных школ. В подобной школе у Вероккьо учился Леонардо да Винчи, который сочетал создание художественный произведений с сооружением различных увеселительных механизмов, гидротехнических проектов, руководил фортификационными работами. Большую часть гонораров Леонардо получал как гражданский и военный инженер.³⁹

С именем Леонардо связано распространение проектного способа познания, предполагающего графическое изображение (визуализацию) объектов природы в виде схемы, модели. Чертеж становится одной из необходимых форм конструирования в инженерной технике и кладет начало геометрической интерпретации физических процессов. Подлинного знания природы вещей, по мнению Леонардо, можно достичь не вербальным описанием явления, а с помощью образов (геометрических построений). Его теория перспективы, в которой глаз рассматривается как рабочий инструмент (измерительное устройство), имела большое влияние на Галилея. Леонардо построил модель человеческого глаза, с помощью которой пытался объяснить его природу и действие. Эта геометрическая модель Леонардо стала первым искусственным объектом, специально созданным для объяснения естественного механизма зрения (в истории оптики известна как первая *камера-обскура*).⁴⁰

Художники эпохи Возрождения ценили математику, придавали ей решающее значение в овладении искусством. Перспектива, согласно Леонардо, - средство, своеобразный мост между природным объектом и его геометрическим эквивалентом, который служит для перевода трехмерных изображений реального мира в плоские геометрические фигуры, а также для изображения невидимых сил природы. Так в эпоху Возрождения, благодаря Леонардо в познании природы распространяется новая методологическая

³⁹ Гуковский М.А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л., 1947.

⁴⁰ Гуриков В.А. Становление прикладной оптики XV-XIXвв. М.,1983. С.12.

установка, согласно которой истинное понимание естественного, природного достижимо посредством искусственного построения (проекта, схемы, модели).

Натурфилософия эпохи Возрождения характеризуется новой мировоззренческой установкой, получившей название **пантеизм**, согласно которой утверждается изначальное тождество Природы и Бога. В рамках этой установки формируются предпосылки научной революции, к которым можно отнести представление о бесконечности в новой математике Н.Кузанского, гелиоцентрическую систему мира Н.Коперника, экспериментальный метод Г. Галилея.

Новые познавательные возможности в математике связаны с введением понятия бесконечность в рассмотрение проблемы взаимного перехода фигур друг в друга. Переход от вписанного в круг многоугольника к кругу представлял собой неразрешимую проблему античной математике. Евклид и Архимед полагали, что различие круга и многоугольника не может быть преодолено, сколько бы мы не увеличивали количество сторон многоугольника. Н.Кузанский исходил из утверждения, что круг по своему понятийному содержанию и по бытию есть не что иное, как многоугольник с бесконечным количеством сторон. Для современного студента, знакомого с дифференциальным и интегральным исчислением, это выглядит вполне естественно.

Н.Кузанский полагал, что бесконечность связана с божественным всемогуществом. Вселенная не является бесконечной, в истинном смысле бесконечен только Бог как абсолютная возможность. Поскольку ограничение возможности исходит от Бога, а ограничения действия – от случайности, мир, по необходимости ограниченный случайностью, кончен.

Николай Коперник (1473-1543 – польский монах, астроном) принимает бесконечность как натурфилософское допущение и формулирует *семь постулатов гелиоцентрической системы мира*, противостоящей признанной системе Птолемея.

1. Не существует одного центра для всех небесных орбит или сфер.
2. Центр Земли не является центром мира, но только центром тяготения Лунной орбиты.
3. Все сферы движутся вокруг Солнца, расположенного в центре мира.
4. Отношение радиуса земной орбиты к радиусу вселенной меньше, чем отношение радиуса Земли к радиусу земной орбиты. Радиус Земли можно принять за исчезающее малую величину по сравнению с размером Вселенной, но такой же исчезающее малой величиной является также и земная орбита («несущий землю великий круг»).
5. Все движения, наблюдаемые у небесной тверди, принадлежат не ей самой, а Земле. Именно Земля с ближайшими к ней стихиями вращается в суточном движении вокруг

неизменных своих полюсов, причем твердь и самое высшее небо остаются все время неподвижными.

6. Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета, таким образом, Земля имеет несколько движений.

7. Кажущиеся прямые и попятные движения планет принадлежат не им, а Земле. Таким образом, одно это движение достаточно для объяснения большого числа видимых в небе неравномерностей.⁴¹

Постулат Коперника об исчезающе малой величине земной орбиты неизмеримо расширил масштабы Вселенной, по сравнению с принятой до сих пор системой Птолемея, в которой допускалось, что можно принять за точку Землю по отношению к расстоянию до сферы неподвижных звезд. Коперник утверждал, что мир сферичен, неизмерим и подобен бесконечности, то есть Вселенная сравнима с бесконечностью, также как земная орбита сравнима с точкой. Коперник называет Небо бесконечным, а расстояние от Земли до небесного свода – бесконечно большим.

В вопросе о бесконечности Коперник пошел дальше Н.Кузанского, приписывавшего атрибут бесконечности только Богу. Делая оговорки, он создает представление о бесконечной Вселенной. Именно на Коперника ссылается Дж.Бруно, доказывая (а не только допуская) бесконечность мира.

В эпоху Возрождения утверждается *новое понимание математики* как инструмента научного познания, изменяется стиль мышления, формируются новые инструменты исследования природы. В этом движении европейской мысли немаловажную роль сыграл Иоганн Кеплер (1571-1630).

Математика в античном представлении – наука о рациональных построениях разума. Математические сущности существуют до самих вещей. Механика, оптика, астрономия – сфера реализации априорных геометрических схем. В работах Кеплера математические схемы из разряда априорных (доопытных) условий переводятся в разряд расчетных средств науки. В модели Вселенной Кеплера основой небесной механики становится физическая реальность, а не математическая схема. Геометрическое описание движения основывается на данных наблюдения за реальными движениями планет.

Кеплер стремился показать, что небесная машина является не видом божественного живого существа, а подобна часовому механизму, поскольку все ее многочисленные движения инициируются одной телесной силой, подобно тому, как в часовом механизме все приводится в движении гирий. В

⁴¹ Коперник Н. О вращении небесных сфер. М. 1964, с.419-420

созданной им динамической модели Вселенной формальная схема античной космологии заменяется природным законом движения планет.

Итальянский мыслитель эпохи Возрождения, основоположник классической механики, астроном и математик *Галилео Галилей* (1564-1642) в исследовании природных явлений, в частности движения тел, опирался на эксперимент. Известны его опыты с определением скорости падения тел разной массы, в которых он использовал Пизанскую башню. Ему принадлежит вывод о постоянстве ускорения свободного падения тел.

Галилей выдвинул идею об относительности движения, установил законы инерции, свободного падения и движения тел по наклонной плоскости, сложения движений; открыл изохронность колебаний маятника; первым исследовал прочность балок. Астрономические открытия Галилея стали наглядным доказательством истинности гелиоцентрической системы, а также идеи Дж.Бруно о физической однородности Земли и неба. Открытие звездного состава Млечного пути явилось косвенным доказательством бесчисленности миров во Вселенной.

Свои идеи Галилей изложил в сочинении «Диалог о двух главнейших системах мира – Птолемеевой и Коперниковой» (1632), которое послужило поводом для обвинения его в ереси. Католическая церковь терпела воззрения ученых, признававших систему Коперника в качестве гипотезы, полагая, что доказать ее невозможно. Но когда Галилей представил доказательства гелиоцентрической системы, Римская церковь приняла решение запретить распространение идей Коперника, внеся его труды в «Список запрещенных книг» (1616). Галилей в 1633г. предстал перед судом инквизиции, вынудившей его публично отречься от учения Н.Коперника. До конца жизни Галилей считался «узником инквизиции» и принужден был жить на своей вилле близ Флоренции. Лишь в 1992г. папа Иоганн Павел II объявил решение суда инквизиции ошибочным и реабилитировал Галилея.

5. Натурфилософия и наука Нового времени

5.1 Экспериментальный метод и математические модели в натурфилософии Нового времени.

В истории науки основоположником экспериментального метода исследования природы считается Галилей, поскольку именно в его работах этот метод обрел наиболее завершенный вид. Однако его оформлению предшествовала долгая подготовительная работа. В XVв. Леонардо да Винчи

(1452-1519) представил схему визуализации природного объекта в виде последовательности возникновения и превращения образа: объект – физическая или визуальная модель – перспективный визуальный образ – геометрическая фигура. Со времен античности математики интересовались «правильными телами» - многогранниками, имеющими равные стороны, грани и углы. Леонардо дал трехмерное изображение пяти основных фигур (куб, тетраэдр, додекаэдр, икосаэдр, октаэдр) с таким правдоподобием, на которое не был способен ни один из его современников. Позднее И.Кеплер использовал эти многогранники в своей модели Вселенной, вписав их в орбиты известных пяти планет Солнечной системы. Леонардо сформулировал своего рода трансмутационную геометрию, решая проблему обратного перехода от геометрических объектов к природным и использовал ее в решении проблемы превращения прямоугольной формы в цилиндрическую. Для демонстрации трансформации одной геометрической форму в другую он использовал комок глины. Идею геометрических превращений он предполагал применить в исследовании трансмутации металлов. Творчество Леонардо связано не только с созданием картин, скульптур, архитектурных сооружений, машин и других проектов, но и с созданием нового типа инженерно-художественного мышления, для которого характерен приоритет рисунка (чертежа) над словесным описанием.

Первым заимствовал экспериментальный метод ремесленников англичанин, доктор медицины Вильям Гильберт (1540/1544-1603) автор произведения «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле», вышедшем в свет в 1600г. Науку о магните он представляет как новый род философии, ищущей знания не только в книгах, но и в самих вещах и опирающейся на главные доказательства, которыми выступают опыт и эксперимент.⁴² Гильберт провозгласил *главное условие научного эксперимента* – *его воспроизводимость* другими. Благодаря тщательно составленным описаниям, его опыты стали ставить во всех физических кабинетах и музеях. Для пояснения своих опытов Гильберт использует чертежи, которые считает необходимыми для предварительной схематизации экспериментальных ситуаций и которые очень похожи на чертежи предлагаемых им навигационных приборов. Таким образом, Гильберту удалось установить соответствие между описаниями структурных схем экспериментов и физических явлений. Помимо этого он в начале своего труда вводит 18 новых понятий, делая первую попытку создать не только графическую

⁴² Гильберт В. О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле. М.: АН СССР, 1976. С.8-9.

(структурную), но и концептуальную (понятийную) схему описания эксперимента. Например, понятие *магнетики* вошло в арсенал современного естествознания благодаря Гильберту.

Значение опытного знания и опытной науки подчеркивалось и ранее в позднем средневековье. Но и в эпоху Возрождения все еще трактовали опыт как наблюдение явлений природы. Галилей положил начало практике экспериментального исследования природы, в которой опыт планируется как особая познавательная ситуация: исследователь задает вопросы природе и получает ответы. Благодаря книге Гильbertа и деятельности Галилея в практику научного познания входит материальный и мысленный эксперимент.

Галилей начал свои исследования с траектории движения снаряда. Ориентируясь одновременно на инженерную практику и математическое знание, Галилей доказал и продемонстрировал, что движение будет происходить по определенной кривой – параболе. Сравнивая траекторию полета снаряда с известными в геометрии кривыми, в частности со спиралью Архимеда, Галилей выделил особый род движения – *естественно ускоренное*, или свободное падение. Приступив к построению теории свободного падения, он обнаружил, что сконструированные им модели не могут полностью объяснить эмпирические знания о свободном падении тел. Усложняя и перестраивая идеальные объекты, Галилей связал воедино теоретическое и опытное (экспериментальное) обоснование.

Согласно представлениям Галилея, модели и идеальные объекты должны объяснять не всю сумму знаний, относящихся к изучаемому объекту, а лишь те знания, которые получены в эксперименте, в соответствии с определенной теоретической установкой.

Стиль научного мышления Галилея определялся соотнесением математического объекта (точка) с физическим (камень) и с искусственно созданным техническим объектом (пушечное ядро). Галилей положил начало геометрической интерпретации физических явлений, создав очень емкую абстрактную схему описания, расчета и прогнозирования механических движений. С этим абстрактно-геометрическим методом каждый современный школьник знакомится при изучении раздела «Кинематика» в курсе физики.

Галилей конструирует *теоретические объекты*. Так, в процессе эксперимента исследуемый объект преобразуется в «экспериментальный объект», который не совпадает с наблюдаемым явлением или процессом, а представляет собой инженерную (искусственную) реализацию мыслимого объекта, созданного на основании теории. Именно такого рода идеализации и

схематизации лежат в основе современного естественнонаучного и технического знания. Еще одно открытие Галилея, таким образом, связано с введением в систему естественнонаучной мысли понятия абстрактной (формальной или виртуальной) физической реальности.

Значение законов механики, открытых Галилеем и его современником Иоганном Кеплером, который придал строгую математическую форму законам движения планет вокруг Солнца, велико. Стремясь объяснить устройство Вселенной, Галилей утверждал, что Бог, когда-то создавший мир, поместил Солнце в центр мира, а планетам сообщил движение по направлению к Солнцу, изменив в определенной точке их прямой путь на круговой. На этом деятельность Бога завершилась. С тех пор природа обладает собственными объективными закономерностями, изучение которых – дело только науки. Такого действического взгляда на природу впоследствии придерживались многие мыслители XVII-XVIII вв.

Главную роль в последующем становлении науки сыграло расширение понятия «опыт» по сравнению со средневековой наукой, которое привело к практике планирования эксперимента. Согласно Галилею научное исследование природы должно включать: 1) наблюдение за естественными процессами, происходящими в природе (без вмешательства человека); 2) наблюдение за функционированием каких-либо искусственных сооружений; 3) теоретически спланированный и технически выполненный эксперимент.

Необходимым условием экспериментирования для Галилея было использование математики, прежде всего геометрии. Это выразилось в мысленном (теоретическом) замещении конкретного физического пространства абстрактным пространством евклидовой геометрии.

Галилей создал первую систему идеализированных объектов, схем и исходных мысленных экспериментов, на базе которых развертывался в дальнейшем мир теоретической механики.

5.2 Научная революция XVIIв.

Первая научная революция связана с изменением метода исследования и описания природы, стиля мышления, формы обоснования научного знания, а также понимания самой науки в отличие от традиций, сложившихся со времен античной натурфилософии, в арсенале которой были: умозрение, созерцание, сомнение. Обоснование гелиоцентризма в XVIIв. кладет начало новой системе естествознания, которая первоначально выступает как математизированная

натурфилософия, впоследствии – аналитическая механика, основа точного экспериментального естествознания.

Стремление к опытному исследованию природы в Новое время (XVI-XVIIвв.) привело к образованию новых социальных структур – научных обществ и академий наук. Эти общества возникали в виде объединения отдельных ученых для совместного проведения и финансирования научных экспериментов и находились обычно под покровительством влиятельных лиц. Таковыми были: возникшая в 1560г. в Неаполе Академия тайн природы; Академия деи Линчей, членом которой был Галилей, учрежденная в 1603г., Академия дель Чименто (эксперимента), основанная во Флоренции в 1657г., Лондонское королевское общество (1660), Парижская академия наук (1666), Научное общество в Берлине (1700). В рамках этих обществ возникает и формируется новая фигура ученого-экспериментатора.

Одним из главных направлений в науке Нового времени стала разработка теоретических схем естествознания. В работах по теории колебаний маятника Х.Гюйгенс (1629-1695) убедительно продемонстрировал, как можно построить научное знание и как это знание использовать в решении технических задач.

Гюйгенс поставил себе цель – создать точные часы, которые можно было бы использовать в качестве морского хронометра. При этом он опирался на принцип маятника, открытый Галилеем. Простой маятник нельзя считать надежным и равномерным измерителем времени, однако при помощи геометрии Гюйгенс нашел новый способ подвешивания маятника, вследствие чего ход часов стал чрезвычайно правильным и надежным, что показали испытания на суше и на море. Он не только изобрел новую конструкцию часов, но организовал их изготовление и проверил в реальных морских условиях. Часы Гюйгенса вместе с компасом и секстантом позволяли успешно ориентироваться в море.

Часы Гюйгенса – воплощенная теория, первый аппарат, конструкция которого основана на законах науки. Гюйгенс фактически реализовал путь приложения научных знаний, намеченный Галилеем: от математической, геометрической схемы (циклоида, по которой должен двигаться маятник) к физическим представлениям и процессам (качание маятника) и далее к схеме устройства (механизм часов). Гюйгенс создал теорию физического маятника как частную теоретическую схему, описывающую определенные физические процессы, а также способ взаимодействия естественнонаучного знания с инженерной деятельностью, который впоследствии стал основой технических

наук (взаимодействие схемы физического процесса и структурной схемы нового экспериментального устройства).

Разработка математических методов описания движений в XVIIв. связана с именем Р.Декарта (1596-1650), который ввел символику, позволившую свести геометрическую интерпретацию движений к арифметическим операциям сложения, умножения, деления. Главная идея Декарта заключалась в утверждении однозначного соответствия поля вещественных чисел и поля прямолинейных отрезков. Аналитическая геометрия Декарта устанавливала связь между линиями на плоскости и алгебраическими уравнениями с двумя неизвестными, что позволило совершать численные операции не только с отрезками прямой, но и с геометрическими фигурами, а также представленными геометрически движениями в физическом трехмерном пространстве. Вкладом Декарта в естествознание стала не только система координат, носящая его имя, но также соотнесение реальных физических движений с алгебраическими понятиями *переменной величины и функции*. Разрабатывая аналитическую геометрию, Декарт вводит физический принцип движения в математику.⁴³

Фактически вклад Декарта можно оценить как создание методов математической физики. Именно благодаря работам Декарта научная мысль получила возможность оперировать математическим аппаратом описания движений, органично соединяющим численные и геометрические методы.

Для мировоззрения Декарта характерно отождествление материи и пространства. Из всех качеств он признавал за материей только протяженность и движение, поэтому считал геометрию универсальным инструментом познания природы. По Декарту, математическое есть физическое и наоборот, поскольку всякое природное тело имеет протяженность в длину, глубину и ширину, т.е. обладает главным признаком природной материальной субстанции. Физические тела (движущиеся или покоящиеся), таким образом, могут быть описаны математическими средствами исчерпывающим образом. Система алгебраических символьических обозначений, введенная Декартом, с небольшими изменениями используется и в современной науке.

В механике Декарт, независимо от Галилея, чья судьба была ему известна и заставила быть очень осторожным в своих публикациях, утверждал относительность движения и покоя. Ему принадлежит формулировка закона

⁴³ Декарт Р. Первоначала философии. Соч. в 2т. Т.1 М. 1989., Гайденко П.П. Эволюция понятия науки (XVII-XVIII вв.). М.,1987; Матвиевская Г.П. Рене Декарт. М., 1967;

сохранения количества движения при соударении неупругих тел, а также закона действия и противодействия. Основанием сохранения количества движения Декарт полагал божий промысел. В оптике Декарт известен как автор первой математической теории радуги, указавший причину ее возникновения.

Декарт ввел понятие рефлекса, установив рефлекторную схему двигательных реакций. Тело человека он рассматривал как сложный механизм, состоящий из материальных (протяженных) элементов и способный совершать сложные движения, вследствие механического воздействия на него окружающих предметов. Декарт стремился объяснить движения души человека как физик, полагая, что к автоматическим движениям (двигательным рефлексам), у человека, в отличие от животного, к телу присоединяется сознательная жизнь души. Позиция Декарта в отношении естественнонаучного объяснения природы человека получила название *психофизического дуализма*, поскольку в душе (сознании) человека, полагал Декарт, нет ничего от протяженности, а в жизни тела нет никакой души, только законы кровообращения.

Учение Декарта о природе получило название *картезианской физики*. В ее основании легли не только упомянутый принцип относительности перемещения и взаимодействия, но также космогоническая концепция о естественном происхождении и развитии Солнечной системы, которое обусловлено только свойствами материи и движением ее разнородных частиц. Космогоническая гипотеза Декарта известна как теория вихрей. В ней предполагалось наличие во Вселенной материального круга (или кольца) одновременно и совместно движущихся тел. Вселенная, согласно Декарту имеет три области: первая – вихрь вокруг Солнца, вторая – вихри вокруг звезд, третья – все, что находится вне первых двух областей. Земля вместе со своим вихрем движется по орбите вокруг Солнца, вращаясь вокруг своей оси.

В картезианской физике мир представлял в виде абстрактно-геометрической (протяженной) реальности, распространение и движение которой не имеет предела (что противоречило средневековому представлению о конечности мира), которая не имеет пустот и поэтому бесконечно делима. Что противоречило античному атомизму, а впоследствии классической механике Ньютона. Декарт сводил физические явления к относительному перемещению тел, подобно Аристотелю отвергал пустоту, утверждая, что взаимодействие осуществляется только через механический контакт. Такой

принцип взаимодействия в истории физики получил название *принципа близкодействия*.

Последователем картезианской физики и математики был *Лейбниц* (1646 - 1716). Независимо от Ньютона он разработал дифференциальное и интегральное исчисление. Лейбниц развил и применил декартово представление о переменной величине в построении исчисления бесконечно малых. В истории математики введение понятий *бесконечно малой величины* и *бесконечно малого приращения* по своему влиянию на последующее развитие математики считается второй революцией. Первая революция была связана с введением иррациональных чисел в античности. Третьим революционным открытием в математике считается теория множеств Г.Кантора (1845-1918).

Проблема исчисления бесконечно малых восходит к апориям Зенона (Стрела, Дихотомия). Бесконечная делимость и бесконечно малые величины были камнем преткновения в математике со времен античности. Только в XVIIв. на основе представления о переменной величине было найдено формальное решение парадоксов Зенона через *отношение* одной бесконечно малой к другой бесконечно малой, которое имеет конечное численное выражение. Так был открыт путь к исчислению бесконечных величин и обозначению их пределов. Дифференциальное и интегральное исчисление, в сущности, преобразовывало бесконечные приращения в конечные числовые и символические алгебраические действия. Сразу возникла проблема эмпирического смысла бесконечно малых. Физическая интерпретация бесконечно малых приращений и их отношений принадлежит Ньютону, рассматривавшему отношение бесконечно малого приращения расстояния к бесконечно малому приращению времени как мгновенную скорость ($v = \Delta x / \Delta t$).

5.3 Натурфилософия и механика Ньютона

С именем Исаака Ньютона (1643–1727), связано построение классической естественнонаучной теории, в которой устанавливаются математическое зависимости, выражающие общие законы природы. Натурфилософия и механика Ньютона изложена в его работе «Математические начала натуральной философии». Ньютон обобщил законы таких видов движения как колебания маятника, свободное падение тел, движение тел по наклонной плоскости и по окружности, движение планет (законы Кеплера). Сам Ньютон определял построенную им теорию как

рациональную механику, учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений, точно изложенное и доказанное.

Ньютон начинает изложение своей теории с формулировки основных определений. Он определяет количество материи и массы как произведение объема и плотности, величину движения – как произведение массы и скорости, величину действующей силы – как произведение массы и ускорения.

Важнейшими понятиями в его системе выступают *пространство и время*. Ньюトン рассматривал пространство и время как самостоятельные реальности, не влияющие друг на друга и не зависящие от материального мира и его движения. Ньютон выделил два рода пространства и времени: абсолютное и относительное. Абсолютное пространство по своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему, всегда остается одинаковым и неподвижным. Предстает неким всемилицем, где происходят мировые события. Относительное пространство – это трехмерное пространство, которое характеризуется рядоположенностью и мерой, определяется нашими чувствами по положению относительно некоторых тел. В обыденной жизни именно это трехмерное пространство принимается за неподвижное пространство. Абсолютное время безотносительно к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью. Относительное, кажущееся или обыденное время есть точная или изменчивая, совершающаяся при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, постигаемая чувствами, как *час, день, месяц, год*.

Ньютон так формулирует три общих закона движения:

«Закон I. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не подвергается приложенными силами изменять это состояние.

Закон II. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Закон III. Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе – взаимодействие двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны».

Несмотря на то, что первый и второй законы уже использовал Галилей, обобщенная формулировка и ряд важных следствий принадлежит Ньютона. Величайшим достижением Ньютона стал закон всемирного тяготения, согласно общей формуле любые два тела притягиваются друг к другу прямо пропорционально своей массе и обратно пропорциональной квадрат расстояния между ними. Этот закон, также как и закон инерции Галилея не

очевиден, требовал мысленного эксперимента. До Ньютона ученые обращали внимание на притягательную силу Солнца, но дать математическое доказательство того, что сила управляет движением планет, смог только Ньютон. Он отождествил эту силу с земной тяжестью и дал формулировку закона, известного в физике как закон всемирного тяготения.

Ньютон был сторонником экспериментального изучения природы, большинство описанных им экспериментов были не только хорошо задуманными проектами, но и тщательно проведенными опытами, в которых количественно фиксировался характер протекаемых процессов. Опыты по дисперсии (рассеянию) света долго не могли повторить.⁴⁴ Показав, что искажение изображения в телескопах связано главным образом с дисперсией света, Ньютон разработал совершенно новую конструкцию отражательного телескопа. Идея была простой, свойства вогнутых зеркал давать увеличенное изображение известно, но на пути реализации идеи возникли технические трудности. Во-первых, требуемое качество шлифовки зеркально поверхности выходили за пределы возможности существующей техники изготовления зеркал. Ньютон придумал способ полировки металлической поверхности, нашел подходящие сплавы. Первая модель такого телескопа, созданная самим Ньютоном, была результатом кропотливого труда.

Картезианская и Ньютоновская физика: Два принципа взаимодействия. Система взглядов и рациональная механика Ньютона в европейской культуре и науке получили название *классической механики*. Ее установки и принципы надолго определили развитие естествознания. Физические теории вплоть до начала XXв. развивались на основе Ньютоновского понимания пространства и времени и *принципа дальнодействия*, согласно которому сила передается мгновенно и независимо от расстояний и среды. Именно допущение сил тяготения, передающихся мгновенно на любые расстояния независимо от среды (и в пустоте), предполагающих непонятное действие, стало объектом критики Ньютона уже в XVII-XVIII вв.

Иной принцип взаимодействия в объяснении движений был ранее предложен Р.Декартом, согласно которому передача сил и взаимодействие осуществляется через соприкосновение. Принцип взаимодействия Декарта получил название *принципа близкодействия*. Последователи картезианской физики считали передачу силового взаимодействия посредством пустоты

⁴⁴ Венецианец Рицетти незадолго до смерти Ньютона заявил, что все опыты Ньютона неудовлетворительны, поскольку он все повторил и не нашел описанного явления. На что Лейпцигский профессор Г.Ф. Рихтер отвечал, что виноват не Ньютон, а неумение и невнимательность. В 1723 г. правоту Ньютона доказал оксфордский профессор и искусственный экспериментатор Дюзагилье. (Розенбергер Ф. История физики М.-Л: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1937. С. 163, 164, 169)

абсурдной, выступая против закона всемирного тяготения Ньютона. Критике подвергалось и понятие абсолютного пространства. Материя, согласно Декарту тождественна протяженности, пространству, поэтому понятие «абсолютного пространства», отделенного от материи, также абсурдно, не имеет физического смысла.

Ньютон, в свою очередь, опровергал вихревую концепцию Декарта, считая, что если бы космическое пространство было заполнено материией, то она бы оказывала сопротивление движению тел, и тогда движения планет не были бы замкнутыми. Однако наблюдения показывают, что планеты движутся в соответствии с законами Кеплера, по эллиптическим орбитам. Следовательно, теория вихрей неверна, пространство не заполнено материией. Ньютон разделял пространство и материю, считая реальным существование абсолютного пространства, а причиной реального движения силы. Материя, по Ньютону пассивна, активной силой природы выступает тяготение. На Земле оно выражается силой тяжести, в космосе – космическим притяжением. Поэтому законы тяготения, считал Ньютон, - общие для разного рода движений и тел (земных и космических).

И Декарт и Ньютон предполагали изотропное пространство и однородную материю, исходили из принципа инерции, считая, что если тело приведено в движение, то при отсутствии сопротивления оно будет бесконечно прямолинейно двигаться. Оба вынуждены были искать причину криволинейных движений, имея в виду орбиты планет. Декарт для объяснения криволинейных и круговых движений вводит вихри, Ньютон – силу тяготения. По Декарту, движущееся тело отклоняется от прямолинейной траектории из-за механического препятствия, оказываемого средой, которая непосредственно воздействует на тело. По Ньютону, искривление траектории происходит в силу притяжения одного тела другим, т.е. производится силой, действующей на расстоянии (через пустоту).

Теория движения небесных тел, созданная Ньютоном на основе закона всемирного тяготения, была сразу признана в Англии, но встретила противодействие в Европе, где последователи Декарта отвергали идею абсолютного (пустого) пространства. Авторитет Декарта и его идеи близкодействия был поколеблен открытием приплюснутости Земли у полюсов. Это противоречило расчетам Декарта. Окончательно теория небесной механики Ньютона подтвердилась открытием планеты Нептун в 1846г., которая была «вычислена» У.Леверье.

Часть 3. История классической науки

1. Классическая наука в XVIIIв.

В истории науки XVIII век принято считать веком окончательного оформления классической науки. Научное знание распространяется во всех европейских странах. Авторитет научного знания поддерживается властными структурами. Утверждается социальный статус науки как особой сферы деятельности. В Европе Ведущими центрами естествознания, культуры и общественного прогресса становятся Академии наук - Парижская, Берлинская, Петербургская.

Петербургский академик Леонард Эйлер (1707-1783) систематизирует все достижения математики, развивает аналитические методы в приложении к Ньютоновской динамике материальной точки. Его книга «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически» оказала влияние на умы математиков, работавших на рубеже XVIII-XIXвв., в частности, на создателей математического анализа Жозефа Лагранжа (1736-1813), Карла Гаусса (1777-1855), Пьера Лапласа (1749-1821), имела существенное значение для оформления точного экспериментального естествознания в его классическом виде.

В XVIIIв. возникают отдельные дисциплины прикладной механики: механика жидкостей (гидравлика и гидромеханика), математически разрабатывается теория упругости, теория гидравлических двигателей и паровых машин, закладываются основы термодинамики. Самой сложной, неподдающейся формальным средствам классической механики проблемой в науке XVIII столетия выступает объяснение природы тепла и механизма теплопередачи.

1.1 Методология точного экспериментального естествознания

Общее мировоззренческое основание точного экспериментального естествознания составило представление о пространстве и времени, сформулированное в натурфилософии Ньютона, которое получило название *субстанциальной концепции пространства и времени*. Пространство, время и материя, состоящая из корпускул (т.е. имеющая дискретную, атомарную природу), существуют как независимые, не влияющие друг на друга субстанции. Пространство понимается в абсолютном значении - как вместилище мира и в относительном - как реальное трехмерное пространство,

которое можно измерить и представить формально (математически) в декартовых координатах. Свойствами пространства выступают: протяженность, однородность, непрерывность.

Время также понимается двояко: в абсолютном значении - как абсолютное начало (чистая длительность) и в реальном значении - как течение событий. Свойствами времени выступают: длительность, непрерывность, однородность (время везде одинаково), необратимость (как однозначность и направленность причинной связи). Реальное пространство и реальное время обладают определенной размерностью. Пространство имеет 3 измерения, исчисляется в *метрах* или других соотносительных единицах. Реальное время имеет одно измерение, исчисляется в *секундах* или других соотносительных единицах.

Методологию точного экспериментального естествознания характеризуют следующие положения.

1. В качестве основы всех наблюдаемых природных явлений полагается только механическое взаимодействие тел. Любое движение рассматривается как перемещение тел в трехмерном пространстве с течением времени. Утверждается *принцип дальнодействия*, согласно которому действие сил на тела передается мгновенно, промежуточная среда не влияет на действие силы, которая может действовать и в пустоте как сила тяготения, например.

2. Описание и изучение механических взаимодействий сводится к математическому описанию движения материальных точек, которое опирается на значение переменных величин и их функций по времени. Основными расчетными параметрами движения выступают: координаты (x, y, z) и время (t), производные координат по времени - мгновенная скорость ($v = \partial x / \partial t$) и ускорение ($a = \partial v / \partial t = \partial^2 x / \partial t^2$), - и сила (F), которые характеризуются кроме величины переменным направлением. При этом фундаментальное значение для систем, описываемых линейными уравнениями, имеет *принцип суперпозиции*, согласно которому результирующий эффект от нескольких независимых воздействий, представляет собой сумму эффектов, вызываемых каждым воздействием в отдельности.

3. Утверждается *принцип инвариантности законов природы*. Согласно этому принципу, законы природы, сформулированные в виде законов механики, не изменяются с течением времени, выступают отражением однородности времени. Законы природы не зависят также от изменения системы отсчета (покоящейся или равномерно движущейся), от переноса ее или сдвига (поворота). Это значит, что все явления в замкнутой физической

системе будут происходить одинаково независимо от того, перенесена ли она в другое место или как целое повернута на некоторый угол. Вместе с принципом инвариантности утверждается *принцип симметрии законов природы*, который следует из однородности пространства (равноправие всех точек) и его изотропности (равноправие всех направлений).

4. Главным методологическим принципом точного экспериментального естествознания - *механистический детерминизм* (от лат. determino – определяю), связанный с утверждением жесткой причинной связи событий, которая отождествляется с природной необходимостью, закономерностью. Полагается, что причины всех наблюдаемых явлений могут быть описаны строго и однозначно законами механики. Причина может быть *всегда* вычислена с помощью математики, а любое событие - точно спрогнозировано.

В классической форме механистический детерминизм был развит французским ученым П.Лапласом (1749-1827), который видел в небесной механике Ньютона образец завершенного и окончательного научного знания. В своем «Трактате о небесной механике» Лаплас показал, что закон всемирного тяготения Ньютона при учете взаимных возмущений планет полностью объясняет их наблюдаемое движение. Лапласовская формулировка причинной связи подчеркивала абсолютную строгость предсказания любого природного явления: если бы существовал ум, осведомленный в данный момент обо всех силах природы в точках приложения этих сил, то не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно; и будущее также как и прошедшее предстало бы перед его взором. Такая позиция получила название *лапласовский детерминизм*.

Вместе с тем именно Лаплас внес большой вклад в разработку математической теории вероятностей. Интерес к вероятностным оценкам возникает в середине XVIIIв. Вторая половина века отмечена созданием вариационного исчисления Ж.Лагранжем. В работе Лапласа «Аналитическая теория вероятностей» впервые была представлена методика вероятностного подхода к физическим проблемам. Но в качестве введения к своей теории Лаплас предпослав «Опыт философии теории вероятностей», где сформулировал принцип механистического детерминизма, который он рассматривал как методологический принцип построения всякой науки.

В своей работе «Изложение системы мира» (1796) Лаплас на основании развития методов небесной механики Ньютона математически доказал устойчивость Солнечной системы и ускорение движения Луны, предсказал возможность существования коллапсирующих звезд, выдвинул концепцию о

происхождении Солнечной системы из первичной медленно вращающейся туманности, распространявшейся далеко за пределы возникшей позднее Солнечной системы.

Стремление к повышению точности наблюдений, улучшению методов и инструментов в области астрономии сделало вычисление, математический расчет не менее важным методом наряду с наблюдениями и измерениями. Проблемами астрономии в XVIIIв. весьма успешно занимаются и математики А.Клеро, Д'Аламбер, П.Лаплас. Их усилиями разработаны математические методы, которые легли позже в основание теоретической астрономии, а в XVIII столетии позволили вычислить массу Земли и Солнца и расстояние между ними, оценить размеры Солнечной системы и расстояние до звезд.

Именно в *астрономии* авторитет науки в это время чрезвычайно высок, по сравнению с авторитетом теологов. Поэтому в XVIIIв. возникает ряд нерелигиозных космогонических концепций, излагаемых в популярной форме трактата об истории неба. Гипотезу о происхождении планет из вещества звезд, благодаря действию центробежных сил предложил шведский астроном и математик Э.Сведенборг (1688-1772), высказавший также мысль о том, что Млечный путь, наблюдаемый астрономами, - гигантское скопление звездных систем. Согласно гипотезе французского ученого Ж.-Л. де Бюффона (1707-1788), планеты Солнечной системы образовались в результате столкновения Солнца с кометой и представляют собой осколки Солнца. Опираясь на механику Ньютона, выдвигает теорию естественной истории неба И.Кант (1724-1804), который сделал попытку применить принципы механики не только к объяснению строения Солнечной системы, но также к ее возникновению и развитию. Солнечная система, по Канту, возникла из облака разреженных в пространстве частиц материи и развилась до нынешнего состояния в соответствии с законами Ньютона. Кант поставил вопрос о возникновении Вселенной. Отказавшись от идеи первотолчка, он представил первичное состояние Вселенной в виде хаотического движения материальных частиц под действием сил притяжения и отталкивания, что выражается в их параллельном кругообразном движении вокруг центрального тела. При этом составляющие это тело легкие частицы воспламеняются и становятся огненным шаром – Солнцем. По мысли Канта, сформировавшееся мироздание движется к своей гибели, но в противовес этому в других местах Вселенная будет создавать новые миры. В истории естествознания эта теория получила название *небуллярной концепции Канта – Лапласа*.

К астрономическим открытиям XVIII века относят:

- догадка о безграничном иерархическом (системном) строении Вселенной, выдвинутая Иоганном Ламбертом (1761);
- открытие и систематизация звездных туманностей Уильямом Гершелем (1738-1822), его каталог включал около 2500 туманностей;
- установление расстояния до ближайших звезд – Фридрих Бессель (1784-1846), Василий Струве (1793-1864), Томас Хендерсон (1798-1844), что открывало перспективу исследованиям структуры космического пространства далеко за пределами Солнечной системы.

Теоретическая основа аналитической механики усиливается принципом наименьшего действия, сформулированным французским математиком, физиком и философом Пьером Мопертюи (1698-1759), который после посещения Англии в 1728г. стал одним из наиболее энергичных защитников идей Ньютона в континентальной Европе. Считая, что декартовский принцип сохранения количества движения, а также закон «сохранения живой силы» Лейбница не могут объяснить все явления природы и, обратившись к механике Ньютона, Мопертюи ввел понятие *действия*, которое оказалось очень конструктивным в силу своей универсальности. Мопертюи сформулировал принцип наиболее экономного (в этом смысле – наименьшего) действия: «когда происходит в природе какое-либо изменение, то количество движения, употребленное для этого изменения, всегда является наименьшим из возможных».⁴⁵

Принцип наименьшего действия, развитый в работах Эйлера и Лагранжа, стал основой нового вариационного исчисления в математике. Наиболее обобщенную и завершенную форму ему придал Гамильтон. С тех пор принцип наименьшего действия рассматривается в качестве фундаментального принципа объяснения не только механического, но и любого физического явления. В механике действие определяется как произведение импульса тела на пройденный телом путь. В универсальном, обобщенном виде понятие действия раскрывается через разность потенциальной и кинетической энергии, которая получила в современной физике название «функции Лагранжа»: $L = E_{\text{кин.}} - E_{\text{пот.}}$.

Произведение разности энергий на промежуток времени ($L\Delta t$) называется элементарным действием, а сумма всех элементарных действий в

⁴⁵ Цит. по: Философская энциклопедия. Т.. М.1964. С. 496.

рассматриваемом интервале времени – полным действием (A). Полное действие выражается интегралом: $A = \int L \cdot dt$.⁴⁶

Вариационный принцип Лагранжа – Гамильтона заключался в том, что реальное движение происходит всегда таким образом, что действие оказывается экстремальным с точки зрения математического описания функции, то есть производная полного действия обращается в нуль (или вариация действия $\delta A = 0$). Используя аппарат математического анализа, таким образом, можно получить уравнения движения частицы (тела), исходя из одного принципа наименьшего действия. Математически минимизация действия в классической механике представлена уравнениями Лагранжа – Эйлера, которые показывают связь этого принципа с законами Ньютона.⁴⁷

1.2 Проблемное поле науки XVIIIв.

Картина мира в классической механике, обретя точность и математический язык описания и прогнозирования явлений, оказалась достаточно жесткой. За пределом математических формул, выражающих законы механики, оказались тепловые, электрические, магнитные явления. Характерный для науки того времени механический подход породил гипотезы о существовании особых веществ, передающих такого рода взаимодействия. Стремление все явления объяснить с помощью механических сил вызвало к жизни такие теоретические конструкты как «флюиды», «теплород», «эфир», «флогистон», свойства которых связывались учеными с передачей тепла, тяготения, электричеством и магнетизмом.

Учение о флюидах, просуществовавшее в европейской науке до XIXв., восходит к Декарту, который ввел представление о «невесомых жидкостях» (флюидах), заполняющих пространство и обеспечивающих взаимодействие через соприкосновение. Это учение дополняло классическую механику в объяснении химических, тепловых, световых, электрических явлений. Поскольку не удавалось хорошо объяснить все эти явления одним видом

⁴⁶ В современной теоретической физике принцип наименьшего действия называют принципом Гамильтона. функции координат и времени. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10т. Т. 1. Механика. М., 2002, с.10-11.

⁴⁷ В конце XIXв. было показано, что уравнения Лагранжа – Эйлера согласуются с уравнениями Максвелла, описывающими электромагнитные взаимодействия, а функция Лагранжа остается неизменной (инвариантной) в преобразованиях движений в абстрактных пространствах большого числа измерений, следствием чего выступают законы сохранения. Но только в начале XXв. на этом основании были объединены сформулированные ранее законы сохранения: закон сохранения энергии, закон сохранения импульса, закон сохранения момента импульса, закон сохранения электрического заряда. Число законов сохранения в связи с развитием квантовой физики и физики элементарных частиц стало еще больше.

флюидов, в естествознании XVII–XVIII вв. укореняются разные сущности, соответствующие разному типу физических явлений. С помощью мифического вещества теплорода объясняются тепловые явления, эфира – световые явления, флогистона – электрические явления, магнетизм объясняется действием магнитных флюидов. Учеными того времени было затрачено много усилий на разработку и постановку экспериментов по обнаружению этих веществ.

Природа тепла. В XVIII в. появляются многообразные конструкции термометров. Первый газовый термометр в 1592 г. изготовил Галилей. Он состоял из стеклянной колбы с длинным узким горлышком, частично заполненным подкрашенной водой. Колба переворачивалась, ее горлышко помещалось в широкий сосуд. При охлаждении объем воздуха в колбе с каждым градусом уменьшается на одинаковую величину. Из существовавших в то время 19 температурных шкал до нашего времени сохранились только три: шкалы Реомюра, Фаренгейта, Цельсия.⁴⁸ В международной системе СИ, устанавливающей единицы измерения физических величин, принята абсолютная шкала Кельвина, которая появилась позже.

В физике XVIII в. сохраняется понятие теплорода для объяснения тепловых явлений, но опыты А. Лавуазье и П. Лапласа по определению удельной теплоемкости жидких и твердых тел, привели к неожиданным результатам. Установив зависимость теплоемкости тел от температуры, они пришли к выводу, что природа тепла не связана с теплородом и сформулировали понятие количества теплоты.

Природа электричества. Наступление идет и в направлении исследования электрических явлений. Опыты со статическим электричеством в середине XVIII в. (любимое развлечение образованных людей, включая представителей монашеских орденов) привели к случайному изобретению конденсатора, аккумулирующего электрическую энергию – лейденской банки.

Первый опыт провел пастор фон Клейст в Померании. Второй – студент, затем профессор Лейденского университета, где была прекрасная физическая лаборатория. Один из учеников профессора Мушенбрука, которым он рассказывал о своих опытах, ради развлечения решил наполнить электрической материей банку с водой, поскольку вода жидкая, а электрическая материя обладает свойствами жидкости. Он опустил в банку с водой металлический стрежень, зарядил его от электрической машины и,

⁴⁸ Г. Линднер. Картины современной физики. М., 1977, с.60.

решив спустя некоторое время вытащить стержень, испытал сильный удар. Профессор Мушенбрук повторил опыт своего ученика. О лейденском эксперименте одним из первых узнал аббат Нолле и продемонстрировал этот опыт в Версале в присутствии короля. 180 мушкетеров встали, взявшись за руки, кольцом, крайним аббат предложил дотронуться до электродов лейденской банки, заряженной от электрической машины. Вскрики и неожиданные жесты развеселили короля. Тогда же был произведен и первый опыт со смертельным исходом, когда аббат поставил рядом с заряженной банкой клетку с воробьем. Популяризаторская деятельность аббата Нолле сделала лейденскую банку широко распространенным прибором, демонстрирующим электрические удары.

Следующий шаг в аккумулировании электрической энергии сделал Бенджамин Франклин (1706-1790). Ему было 40 лет, когда он случайно попал в Бостоне на популярную лекцию о чудесах электричества. Будучи уже политическим деятелем, дипломатом и богачом, Франклин купил все оборудование лектора и увез в Филадельфию. В 1746г. Франклин создал *плоский конденсатор*. Его исследования привели к установлению электрической природы молний, изобретению громоотвода, который стали устанавливать на всех зданиях. Письма Франклина в Лондонское королевское общество, в которых он сообщал о результатах своих исследований, были опубликованы, затем переведены на французский и немецкий языки. Открытие Франклином воздушного электричества, а также изобретение громоотвода стали настоящей сенсацией.⁴⁹

В XVIIIв. выдвигаются две альтернативные гипотезы о природе электрических явлений. В гипотезе Франклина электричество рассматривается как особая невесомая жидкость (флюид), обладающая свойствами взаимного отталкивания частей и притяжения более грубой материи. Он вводит понятие положительно и отрицательного электрического заряда. Теорию Франклина о жидкой «электрической субстанции» обходили молчанием во Франции и не жаловали в России. Взгляды Ломоносова и Эйлера противоречили распространенной среди ученых того времени точке зрения, наиболее четко выраженной в концепции Франклина о природе электричества. Несмотря на то, что теории Ломоносова и Эйлера носили электростатический характер, причина электрических явлений усматривалась не в свойствах мифической

⁴⁹ В истории культуры сохранились сведения о том, что египетские жрецы умели оберегать свои храмы от поражения молнией. Известен также факт, что иерусалимский храм, построенный во времена царя Соломона и расположенный в одном из грозовых районов Земли, за тысячу лет не испытывал ни одного удара молнией. В мифологии существует упоминание о том, что древнеримский бог Фавн научил второго царя Рима Нуму Помпилия искусству отводить гнев Юпитера от храмовых кровель.

жидкости, а в специфических формах движения эфира. Существование эфира – среды, в которой распространяется свет, не подвергалось сомнению вплоть до начала XXв.

Идеи Франклина в России развивал Франц Эпинус (1724-1802), член Петербургской Академии наук с 1756г., который получил приглашение занять должность профессора физики после опубликовании в мемуарах Берлинской Академии работы о новом природном явлении – *пироэлектричестве*, свидетельствующем о связи электрических сил с теплотой. В работах Эпинуса впервые было показано взаимодействие электризованных тел с неэлектризованными, до этого считалось, что взаимодействуют только наэлектризованные тела. Эпинус утверждал, что только после того, как заряд одного тела вызовет появление заряда на другом, они начинают взаимодействовать, что выступило прообразом идеи поляризации тел. Работы Эпинуса были широко известны в XVIII-XIXвв., на них ссылались Кэвендиш и Кулон, Лаплас и Лежандр, Вольта и Фарадей.

В 1784г. французский военный инженер и физик Шарль Огюстен Кулон создал крутильные весы, которые позволили ему провести тончайшие измерения действия малых электрических и магнитных сил. Он установил, что взаимодействие зарядов обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. В 1785г. Кулон сформулировал основной закон электростатики, который известен каждому школьнику и носит его имя: *сила электростатического взаимодействия прямо пропорциональна величине взаимодействующих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними*.

Формула закона Кулона для точечных электрических зарядов была похожа на закон всемирного тяготения Ньютона. Кулон распространил этот закон и на взаимодействие магнитных зарядов, заложив тем самым основы электро- и магнитостатики.

В XVIIIв. было положено начало не только электростатике, но и электродинамике, благодаря изобретению первого источника постоянного тока («вольтова столба»), который позволял получать не просто заряд, используемый единовременно в одном разряде, а создавал постоянный электроток, возникающий в ходе химической реакции. Его создатель – талантливый экспериментатор Alessandro Volta (1745-1827) был одним самых знаменитых людей своего времени. Совершенствуя прибор Эпинуса для изучения электрической индукции, Вольта изобрел электрофор, принцип действия которого привел к созданию электрофорной машине, позволяющей

более успешно получать электричество трением. Следующим изобретением Вольты был очень чувствительный электроскоп.⁵⁰

Электрохимический источник тока – вольтов столб – обозначил границу новой эры. И хотя в современном мире техники электроэнергия вырабатывается не только и не столько с помощью электрохимических генераторов, сколько электродинамическим способом, предложенным Фарадеем, спустя 30 лет, именно изобретение Вольты положило начало современному представлению об электрическом токе. Для объяснения причины возникновения электрического тока в вольтовом столбе он сформулировал «контактную теорию»: электрический ток возбуждается в результате соприкосновения разнородных металлов, чтобы зародилась электродвижущая сила, которая разделяет положительные и отрицательные электричества и гонит их в виде токов в противоположные направления. Имя Александра Вольты увековечено в единицах измерения напряжения электрического тока.

Полную ясность в природу электрического тока внесли только исследования Фарадея уже в XIX в.

1.3 Становление химии как области экспериментального естествознания.

В предыдущие века химические опыты проводились с целью найти тот единственный рецепт, который позволит осуществить трансмутацию неблагородного металла в благородный. Кабинет алхимика и астрономическая обсерватория были первыми естественнонаучными экспериментальными лабораториями. Помимо чисто научного интереса опыты алхимиков представляли практический интерес, поскольку обещали легкое обогащение. Достаточное дорогое опытное исследование состава природных веществ, прежде всего металлов, имело хорошую материальную поддержку аристократов. Мистический ореол, окутывающий поиск философского камня, придавал действиям алхимики особое магическое значение, тайное знание придавало ему особый статус, ставило выше смертного. Ученые в средние века, эпоху Возрождения и Новое время в той или иной мере были причастны к алхимическим опытам. Начало сложному процессу отделения научного

⁵⁰ В 1800г. в журнале Лондонского королевского общества появилось письмо А.Вольты с описанием прибора, представлявшего первую в мире электрическую батарею, первый источник постоянного тока, названный «вольтовым столбом». По свидетельству современника, это было странное сооружение из разнородных металлов, разделенных небольшим количеством жидкости. Длинный составной столб из кружков медного, цинкового и мокрого суконного представлял собой самозаряжающуюся лейденскую банку. Араго Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров, т.II. СПб, 1860, с.222-226.

содержания от мистических наслоений алхимии положили врачи-химики (иатрохимики, иатрос – врач), которые искали лекарственные составы, а также развитие металлургии, красильного дела, изготовление глазурей.

В эпоху Возрождения развивается практическая алхимия, нацеленная на разработку методов получения чистых металлов. К началу XVIIв. были широко распространены такие методы очистки веществ как фильтрация, возгонка, дистилляция, кристаллизация. Для проведения экспериментов использовались специальные аппараты: водяная баня, перегонный куб, специальные печи для нагревания колб. Были открыты серная, соляная, азотная кислоты, выделены многие соли, этиловый спирт, изучены реакции взаимодействия металлов с серой, обжиг и окисление.

В XVIIв. происходит кардинальная перестройка химического знания: рецептурная схема, определявшая действия ученого, исследователя и металлурга, уступает место схеме теоретической. Пытаясь объяснить природу вещества, ученые отказались от традиционных начал алхимии и обратились к античному атомистическому учению.

На формирование нового представления о предмете химического знания большое влияние имели труды французского мыслителя Пьера Гассенди (1592-1655), который блестяще интерпретировал забытое наследие античных материалистов. Гассенди сделал попытку построить физику как натурфилософию на основе атомистики Эпикура. Полагая все же, что Бог создал определенное количество атомов, отличающихся друг от друга формой, величиной и весом, Гассенди утверждал, что из нескольких десятков атомов природа создает великое множество тел. Крупные соединения атомов, доступные ощущениям, он назвал *молекулами*. Для обнаружения таких частиц, невидимых глазом, Гассенди использовал энгиоскоп (микроскоп).

Концептуальные основания химии. Можно сказать, что химия как точная экспериментальная наука рождается вместе с представлением о корпускулярном строении вещества (*corpusculum* – лат. тельце, маленькое тело). Развитие корпускулярной теории в XVIIв. связано с именем Ньютона, который немало времени посвятил химическим опытам. Известно, что Ньютон имел хорошо оборудованную химическую лабораторию, исследовал кислоты, химическое действие, распад веществ и их образование. Ньютон полагал, что корпускулы созданы Богом, неделимы и неуничтожимы. В его теории строения вещества соединение корпускул происходит за счет сил притяжения, которые и определяют химическое средство разных веществ.

Корпускулярное учение о строении вещества развивал английский ученый, физик и химик Роберт Бойль (1627-1691). В своей книге «Химик-скептик» (1661) он изложил взгляд на химию как самостоятельную науку, имеющую независимый от алхимии и медицины предмет, дал первое толкование понятия «химический элемент». Отвергнув учение античного элементаризма о четырех первоначальных стихиях (воде, воздухе, огне, земле), Бойль ввел понятие корпускулы как простого тела, которое уже не может быть разделено на другие тела.

Элементы – вещества, которые нельзя разложить (простые вещества), они состоят из однородных корпускул. Таково золото, серебро, олово, свинец. Например, киноварь, которая разлагается на ртуть и серу, представляет собой сложное вещество. Ртуть и серу следовало также отнести к элементам, но, по мнению Бойля, нельзя известные простые вещества считать сразу элементами. Возможно, в будущем их можно будет разложить на простые. Что впоследствии произошло с водой. Бойль разработал основы качественного химического анализа в растворах, сформулировал отличительные признаки кислот, установил, что эти признаки (способность энергично растворять различные вещества, изменять окраску сока некоторых растений) исчезают при соприкосновении со щелочами. Бойль одним из первых получил и описал водород, фосфор и некоторые его соединения. Соединив учение об элементах с атомистическими представлениями о строении вещества, Бойль полагал, что задача химии как экспериментальной науки – выделение отдельных веществ в чистом виде (химических элементов), установление их состава и комплекса свойств, которыми оно обладает.

Центральная проблема химии XVIIIв. – процесс горения веществ. Для его объяснения выдвигается теория флогистона (невесомой субстанции, содержащейся в каждом горючем теле, которая утрачивается при горении). Тела, содержащие большое количество флогистона, горят хорошо, тела, которые не загораются, не содержат флогистона. В течение почти всего XVIIIв. на основании этой теории ученые объясняли многие химические процессы и предсказывали новые явления.

В конце века Лавуазье показал, что явления горения и обжига объясняются гораздо проще без флогистона. Экспериментальным основанием для построения новой теории послужили четыре явления, постоянно сопровождающие процесс горения: 1) выделение света и тепла, 2) факт, что горение осуществляется только в чистом воздухе, 3) увеличение веса вещества на столько, насколько уменьшается вес воздуха, 4) образование при горении

неметаллов кислот (кислотные оксили), при обжиге металлов – металлической извести (оксиды металлов).

Проводя различные опыты с азотной, серной, фосфорной кислотами, Лавуазье пришел к выводу, что кислоты отличаются одна от другой лишь основанием, соединенным с воздухом. «Чистый воздух» обуславливает кислые свойства этих веществ, поэтому он назвал его *кислородом* (оксигениум, лат. оксюс – кислый, геннао - рождаю). В 1769г. Лавуазье опубликовал «Начальный курс химии», где систематизировал накопленные к тому времени химические знания, изложил *кислородную теорию горения*, дал определение элемента и классификацию простых веществ. Под элементами Лавуазье понимал вещества, которые никоим образом не разлагаются. Классификация простых веществ была представлена четырьмя группами элементов:

- 1) вещества, относящиеся к трем царствам природы (минералы, растения, животные) – свет, теплород, кислород, азот, водород;
- 2) неметаллические вещества, окисляющиеся и дающие кислоты, - сера, фосфор, углерод, радикалы муривый (хлор), плавиковый (фтор), борный (бор);
- 3) металлические вещества, окисляющиеся и дающие кислоты – сурьма, серебро, мышьяк, висмут, кобальт, медь, железо, марганец, ртуть, молибден, никель, золото, платина, свинец, вольфрам, цинк;
- 4) солеобразующие землистые вещества – известь, магнезия, глинозем, кремнезем.

В развитие корпускулярной теории строения вещества большой вклад внес М.В.Ломоносов, сформулировавший положения, которые полностью признаны современной наукой: все вещества состоят из корпускул (мельчайших частиц); корпускулы находятся в постоянном, беспорядочном движении; корпускулы взаимодействуют между собой. Факт движения мельчайших частиц вещества был экспериментально подтвержден английским ботаником Р.Броуном (1773-1858).

Таким образом, к концу XVIII века химия из совокупности множества не связанных друг с другом рецептов, превратилась в последовательную систему знания о строении и свойствах веществ (простых и сложных). Был сформулирован закон сохранения массы вещества при химических реакциях (М.В.Ломоносов – 1756г., А.Л.Лавуазье – 1789г.): *масса веществ, вступающих в химическую реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате реакции*. Из закона сохранения вещества вытекало, что вещество

нельзя создать из ничего, и нельзя уничтожить совсем. Закон сохранения вещества Ломоносов связывал с законом сохранения энергии. Количественным выражением закона сохранения энергии при химических реакциях стал тепловой баланс.⁵¹

2. Формирование корпуса дисциплин классической науки в XIXв.

2.1 Становление высшей математики и открытия в области астрономии.

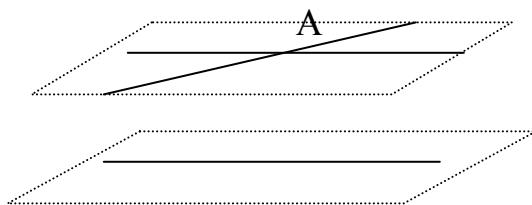
В XIXв. интенсивно разрабатываются математические методы естествознания. Исследование прикладных задач в области механики, гидро- и аэродинамики, геодезии сопровождается оформлением основных разделов *высшей математики*: математического анализа, векторной алгебры и аналитической геометрии, теории сходимости рядов и функций комплексного переменного. Выдающуюся роль в этом сыграл директор астрономической обсерватории, профессор Геттингенского университета Карл Фридрих Гаусс (1777-1855). Создавая математический аппарат изучения формы земной поверхности, он разработал универсальные дифференциально-геометрические методы исследования криволинейных поверхностей. Другая его работа «Арифметические исследования» (1801) расценивается как начало современной теории чисел. Гаусс провел первое систематическое исследование сходимости рядов, ввел геометрическое представление комплексных чисел, соотнеся их с точками на плоскости. Ему принадлежит открытие эллиптических функций, а также первые сомнения в отношении априорной данности пространства, допускающего только одну евклидову геометрию.

Гаусс допускал, что для больших масштабов евклидова геометрия может потерять свое значение. В 1840г. он замерил треугольник, образованный тремя горными вершинами (Броккен – Высокий Гаген – Инзельберг), ожидая, что сумма углов будет отлична от 180^0 , но не обнаружил отклонения в пределах точности измерения, поэтому не опубликовал своих размышлений. С точки зрения современной науки, выбранный Гауссом треугольник был слишком мал. Если бы ему удалось построить гигантский треугольник, образованный тремя удаленными галактиками, он бы убедился в правильности своего предположения.

⁵¹ В обобщенном виде энергетический баланс химического процесса формулируется так: количество тепловой энергии, принесенной в зону взаимодействия веществ, равно количеству энергии, вынесенной веществами из этой зоны.

К середине XIXв. создается теория пределов, и на ее основании методы исчисления бесконечно малых объединяются в особую теоретическую область математического анализа. Возникнув на почве прикладных задач естествознания и техники, дифференциальное и интегральное исчисление становятся разделом чистой математики, замкнутой на своих собственных проблемах, далеких от конкретных задач естествознания. В теоретическом оформлении математического анализа большое значение имели работы Ж.Фурье (1768-1830), О.Коши, (1789-1857), Н.Абеля (1802-1829), Б.Больцано (1781-1912), К.Вейерштрасса (1815-1897). В это же время У.Гамильтон (1805-1865) и Г.Грасман (1809-1877) разрабатывают теорию комплексных чисел, возникает новая математическая дисциплина – векторное исчисление и новая геометрия.

Выдающимся событием в развитии математики было *неевклидова геометрия*, оформление которой связано с именем Георга Римана (1826-1866). Однако первое публичное изложение неевклидовой геометрии принадлежит Николаю Лобачевскому (1792-1856). В своей работе «О началах геометрии» он вывел уравнения, позволяющие представить неевклидово пространство аналитически. Созданная им новая область геометрии впоследствии получила название гиперболической геометрии (геометрии гиперболических пространств). Лобачевский усомнился в аксиоме Евклида: через одну точку можно провести на плоскости только одну параллельную данной прямую. Он формулирует новую аксиому: через точку, не лежащую на данной прямой, проходит, по крайней мере, две прямые, лежащие с данной точкой в одной плоскости и не пересекающие данную прямую. Это можно представить следующим образом:



Идея Лобачевского о многообразии геометрических систем, а также идея о зависимости геометрических свойств пространства от его физической природы – были величайшим достижением мысли XIXв., которое не было оценено. Независимо от Лобачевского, спустя два года венгерский математик

Янош Больяи (1802-1860) излагает идею неевклидовой геометрии в работе «Абсолютная наука о пространстве», которая также не встретила понимания.

Утверждение новых идей в геометрии связано с работами Г.Римана, который рассмотрел геометрию как учение о непрерывных N-мерных многообразиях (совокупностях однородных элементов), развил идею математического пространства, дал общее определение пространства «многообразия», которое охватывает функциональные и топологические пространства. В математике возникло новое понятие «риманово пространство», обобщающее пространства геометрии Евклида и Лобачевского, а также пространства созданной Риманом эллиптической геометрии на основании общего свойства - кривизны. Риман развил учение о кривизне пространства, в отношении реального физического мира выявил проблему относительности геометрии к масштабам пространства и свойствам материи. Теория искривленного пространства с произвольным числом измерений в начале XXв. легла в основание новой физической теории – теории относительности.

XIX век знаменуется рядом открытий в *астрономии*. В 1845г. Уильям Парсонс обнаружил спиралевидную структуру туманностей, открытых в конце прошлого века У.Гершелем. Это породило поток новых гипотез о природе звездных туманностей, действующих в них сил, а также о происхождении небесных объектов. Эрнст Хладни (1756-1827), развивая идею единства вещества во Вселенной, предложил концепцию происхождения метеоритов как остаточного строительного материала планетных систем. В 1846г. Иоганн Галле открыл новую планету – Нептун, основываясь на предсказании и вычислениях У.Леверье (1811-1877). Это открытие завершило оформление и всеобщее признание первой научной картины мира на основе классической механики.

В 1842г. Христиан Доплер, наблюдая спектры звезд, которые содержат те же цветные линии, что и земные источники света установил, что частота света зависит от движения источника света и от движения наблюдателя. При точном измерении оказалось, что спектральные линии звезд несколько сдвинуты в сторону фиолетового конца спектра. В течение половины года все спектральные линии звезд сдвинуты в сторону фиолетового конца, а в следующую половину – в сторону красного. Эти наблюдавшиеся сдвиги в спектре звезд получили название эффекта Доплера, который оставался загадкой до начала XXв.

2.1 Концептуальное оформление физики как естественнонаучной дисциплины

В XIXв. область исследования природных явлений существенно расширяется. В теоретическом знании в дополнение к разделам механики (кинематики, теория упругости, гидромеханики) появляются новые направления, которые также как и разделы механики обогащаются понятийным и математическим аппаратом.

В 40-х гг. складывается *понятийная основа термодинамики*, предметом которой выступает теоретическое описание закономерности тепловых процессов. Ключевую роль в концептуализации термодинамики сыграла идея эквивалентности тепла и механической работы, выдвинутая и подтвержденная в работах врача Юлиуса Роберта Майера (1814-1878), физика Джеймса Прескотта Джоуля (1818-1889). Проводя опыты с вертушкой, опущенной в жидкость, замеряя температуру нагрева жидкости в зависимости от скорости вращения, Джоуль установил, что для того чтобы сообщить системе 1 калорию тепла необходимо совершить одну и ту же механическую работу. Это фиксированное число получило название механического эквивалента тепла. Единицы работы (энергии) и тепла оказались количественно соотносимыми.

Понятие энергии в современном физическом смысле было введено также в XIXв. английским ученым Вильямом Томсоном (лордом Кельвином, 1824-1907). С тех пор *под энергией понимают способность физической системы совершать работу*. В дальнейшем была установлена общая единица измерения любой энергии (механической или тепловой) и работы – *Джоуль*.

Единицами, которыми по традиции измеряют количество теплоты – *калории*.⁵² В современной физике 1 кал = 4,1868 Дж. Выведенный в XIX в. механический эквивалент тепла (который составил 4,18 Дж), фактически уравнивал две системы измерения. Это было великим достижением физической мысли, поскольку разрешалась фундаментальная проблема согласования двух основополагающих явлений (механического движения и теплообмена), для измерения которых использовались различные единицы и исследования которых требовались совершенно разных методов.

Теоретический вклад Р.Майера связан с формулировкой *закона сохранения и превращения энергии*. Он полагал, что существует один вид силы (энергии), который находится в вечном обмене и круговороте, как в неживой,

⁵² Раньше использовалась такая единица как «водяная» калория – количество теплоты, необходимое для нагрева 1 г воды на один градус (от 14,5 С до 15,5 С). 1 «водяная» калория составляет 4,1855 Дж.

так и в живой природе. В любых физических и химических процессах данное значение силы (энергии) остается неизменным, меняется только форма силы (энергии). Идею сохранения энергии высказывал в XVIIIв. М.В.Ломоносов. Развивая эту идею в области тепловых процессов, Роберт Майер формулирует *первое начало термодинамики*, в соответствии с которым любое изолированное тело стремится сохранить свою внутреннюю энергию.⁵³ Широкое признание в научном мире этот закон получил благодаря деятельности знаменитого физика и физиолога Германа Людвига Фердинанда фон Гельмгольца (1821-1894), показавшего на основании этого закона принципиальную невозможность вечного двигателя.

В оформлении *теоретической основы термодинамики* велика заслуга Сади Карно (1796-1832), разработавшего принципиальную схему тепловой машины, а также Рудольфа Эмануэля Клаузиуса (1822-1888), с именем которого связано понятия *энтропии*, открытие второго закона термодинамики, создание молекулярно-кинетической теории газов.

Основания *молекулярно-кинетической теории* были заложены формальным описанием закономерностей поведения «идеального газа». Общий закон тепловых процессов в идеальных газах устанавливал взаимную связь массы газа, его температуры, давления и объема (уравнение Клапейрона – Менделеева). В молекулярно-кинетической теории устанавливалось, что *теплота не что иное, как связанная с мельчайшими частицами вещества энергия их движения*.

Хаотическое движение молекул газа или жидкости было сведено к понятию теплового движения, которое и определяет все тепловые свойства тел. Было введено понятие *внутренней энергии тела*, обусловленной тепловым движением составляющих его атомов и молекул, которая пропорциональна температуре тела. Под количеством теплоты стали понимать энергию, получаемую телом или отдаваемую им в окружающую среду. В замкнутой системе, которая не имеет с окружающей средой ни теплового, ни механического взаимодействия, все протекающие в системе процессы регулируются внутренней энергией. Полное изменение энергии тела складывается из приращения количества теплоты и совершающей работы. При этом работа не является функцией состояния тела (как в механике, например, потенциальная и кинетическая энергия), а характеризует происходящий с

⁵³ В современных учебниках первое начало термодинамики звучит так: *для изолированного тела имеет место закон сохранения внутренней энергии*. Ипатова И.П., Мастеров В.Ф., Уханов Ю.И. Курс физики: в 2.т. Т.1: Механика. Термодинамика. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003, с.279.

телом процесс, затрагивающий изменение его внутренней энергии, и зависит от способа перехода в другое тепловое состояние.

Представление о термодинамическом равновесии и понятие *энтропии* (греч. ἐντροπία - поворот, превращение), отражающее количественную меру необратимости протекающих тепловых процессов, привели к открытию новой закономерности тепловых процессов.

По определению Клаузиуса, элементарная энтропия – это отношение количества теплоты (в калориях) к соответствующей температуре ($\Delta Q/T$). Полная энтропия равна сумме таких элементов. При смешивании жидкостей или газов с различной температурой, их общая температура снижается, а суммарная энтропия увеличивается.⁵⁴ В 1865г. Клаузиус формулирует новый закон термодинамики для равновесных систем: *при всех процессах суммарная энтропия системы возрастает*. Эта закономерность касается полных систем, включающих не только данное тело, но и его окружение (например, вода + окружающий воздух).

Тенденция к возрастанию энтропии определяет направление многообразных процессов в природе, указывая направление потока тепла, химической реакции, движения сжатого газа при наличии свободного пространства. Это положение Клаузиуса получило название *второго начала термодинамики*.

Физика XIXв. установила, что в телах скрыта огромная тепловая энергия. Инженеры и ученые XIXв. пытались изобрести машину, которая бы отбирала тепловую энергию от окружающей среды и всю ее превращала в работу. Такая гипотетическая машина получила название *вечного двигателя второго рода*. Первый закон термодинамики не ограничивал возможностей превращения тепла в механическую работу. Однако сформулированное в середине века второе начало термодинамики говорило о принципиальной невозможности такой машины из-за возрастания энтропии. Механическая работа может переходить в тепло (например, в результате трения), но обратный процесс превращения тепла в механическую работу в замкнутой системе невозможен, поскольку макроскопическое тело всегда переходит в более вероятное состояние, в частности менее нагретое. Так, например, невозможно получить горячий пар, просто разделяя холодную и горячую компоненты воды. В реальной ситуации потоки холодной и горячей воды смешиваются,

⁵⁴ В современной физике *энтропия* – функция состояния термодинамической системы, изменение которой в равновесном процессе равно отношению количества теплоты, сообщённого системе или отведённого от неё, к термодинамической температуре системы.

температура выравнивается, происходит отдача тепла в окружающее пространство, а не наоборот.

Сади Карно впервые обратил внимание на то обстоятельство, что запрет второго закона термодинамики относится к замкнутой системе, состоящей из непосредственно контактирующих тел с различной температурой. Если же между горячим и холодным телом поместить разъединяющее их третье тело, можно осуществить и превращение тепла в работу, и перенос тепла от холодного тела к горячему. Принципиальная схема тепловой машины Карно включала три тела: нагреватель (тело с высокой температурой), холодильник (тело с низкой температурой) и рабочее тело, которое при неизменной внутренней энергии обеспечивает постоянный круговой процесс теплообмена.

Такой круговой процесс получил название термодинамического цикла. Цикл Карно состоял из процессов изотермического и адиабатического расширения и сжатия идеального газа. В физике тепловых процессов идеальный цикл Карно играет очень важную роль, указывая пределы превращения тепловой энергии в механическую работу. Коэффициент полезного действия цикла Карно максимальен для тепловых машин и определяется только разностью температур холодильника и нагревателя. Запас энергии, который в принципе можно превратить в полезную работу, назвали свободной энергией. В самопроизвольно протекающих процессах свободная энергия непрерывно уменьшается, а суммарная энтропия возрастает. Этому способствует и человечество, сжигая ежеминутно миллионы тонн угля и нефти.

В области термодинамики при исследовании поведения больших масс газа формируется *представление о статистических закономерностях*. До сих пор физика оперировала только понятием динамического закона, сформулированного в классической механике. Исследования массы газа и жидкости в рамках молекулярно-кинетической теории показали, что для совокупности частиц нельзя определить точное движение одной частицы, но можно установить диапазон ее возможного движения, который выражается законом распределения. Один из первых статистических законов распределения молекул газа по скоростям получил Джеймс Клерк Максвелл (1831-1867) для азота при температурах 20С и 500С. В дальнейшем представление о статистическом законе обобщается, под ним понимается описание поведения большой массы частиц в целом.⁵⁵ *Статистический закон*

⁵⁵ В одном из своих выступлений Максвелл подчеркивает, что с давних времен существуют и противостоят друг другу две теории строения вещества: теория «заполненности» Вселенной (в основе – непрерывность материи) и атомистическая теория (в основе – дискретность, прерывность материи). Развитие методов

в отличие от необходимости динамического закона, имеет вероятностный характер, поскольку только приписывает определенную вероятность каждому из возможных видов случайного поведения частиц, составляющих большую массу.

В разработке *статистической термодинамики* большую роль сыграли труды австрийского физика Людвига Больцмана (1844-1906), которому столь часто приходилось отражать нападки со стороны противников молекулярно-кинетической теории, что одну из своих статей он завершил словами в отношении молекул «И все-таки они движутся», перефразировав знаменитую фразу Галилея.⁵⁶ Сегодня не вызывает сомнений, что тепловая, или внутренняя энергия тела пропорциональна температуре, а температура, характеризующая состояние движения частиц должна быть пропорциональна средней кинетической энергии одной частицы.

Коэффициент пропорциональности, связывающий среднюю энергию одной частицы с температурой тела, называется постоянной Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Вт}\cdot\text{сек} / \text{К}$). На могильной плите Больцмана выгравирована формула, которая раскрывает смысл понятия энтропия: $S = k \ln w$.

Согласно этой формуле энтропия пропорциональна натуральному логарифму термодинамической вероятности. Иными словами, все физические процессы идут в направлении постепенного перехода от упорядоченного к неупорядоченному состоянию (от состояния с меньшей вероятностью - к состоянию с большей вероятностью). Любой самопроизвольный процесс протекает таким образом, что конечное состояние имеет большую вероятность, чем начальное. Например, низкая температура тела более вероятна, чем высокая в самопроизвольном процессе, чайник скорее остынет, чем нагреется без дополнительных затрат энергии.

В современной физике *принцип возрастания энтропии* имеет такой же общий характер, как и закон сохранения энергии. Однако до сих пор выявляются границы его применимости, выдвигаются возражения, что все

дифференциального исчисления связано с учением о непрерывности и являются адекватным выражением отношений непрерывного количества. Теория атомов и пустоты приводит к представлению о конечных силах и отношениях, на основании которого возникает понятие динамической закономерности, а универсальным принципом выступает дальнодействие, наиболее характерное для гравитационных взаимодействий. «Однако в применении динамических принципов к движению громадного числа атомов ограниченность наших способностей вынуждает нас отбросить попытку исследовать точную историю каждого атома и удовлетвориться подсчетом среднего положения группы атомов, достаточно большой, чтобы быть видимой. Этот метод оперирования группами атомов, который я могу назвать статистическим методом, и который при современном состоянии нашего знания является единственно плодотворным методом изучения свойств реальных тел, ... включает отказ от чисто динамических принципов и принятие математических методов, относящихся к теории вероятностей». Максвелл Дж.К. Статьи и речи. М., 1968. Цит. по: Концепции современного естествознания. Хрестоматия. Под ред. А.П. Мозелова. Кн. 2. СПб., 2003

⁵⁶ Г.Линднер. Картины современной физики. С.59.

наши знания о термодинамическом равновесии справедливы для ограниченных систем. Применимы ли принципы термодинамики к очень протяженным системам, в частности к практически бесконечной Вселенной? Такие сомнения высказывал уже Больцман.

Важнейшим достижением физики XIXв. было создание *теории электромагнитных взаимодействий* Майклом Фарадеем (1791-1867) и Джеймсом Клерком Максвеллом. Этому предшествовали исследования Анри Ампера, который в 1820г. сформулировал главную идею теории электричества и магнетизма, сведя все наблюдаемые электрические и магнитные явления к единой причине – взаимодействию двух элементов тока. Ампер доказал, что вокруг проводника с током образуется магнитное поле, объяснив причину эффекта, обнаруженного Эрстедом (отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током). В 1820г. на заседаниях Парижской Академии наук Андре Мари Ампер прочитал серию докладов по электромагнетизму, где провел различие между статическим электричеством, которое не влияет на магнитную стрелку, и электричеством в движении, обозначил новый круг *электромагнитных явлений*, ввел понятие *электродинамических сил*. Его слушали молодые физики Био, Савара, а также семидесятилетний Лаплас.

Установив связь между различными видами электричества и магнетизма, Ампер высказал идею об универсальном механизме передачи электромагнитных взаимодействий посредством *поля*, полагая, что в основе электрических и магнитных явлений лежат не заряды и частицы, а пространство между ними.⁵⁷ А.Эйнштейн считал введение в систему науки понятие электромагнитного поля самым важным открытием со времен Ньютона.

Великий ученый XIXв. Майкл Фарадей был сыном кузнеца и учеником переплетчика, не имел университетского образования. Он поражал всех своей жизнерадостностью и чрезвычайной аккуратностью. Результаты своих опытов Фарадей подробно записывал в дневник. Запись знаменитого опыта о

⁵⁷ Первое открытие Ампера заключалось в обнаружении взаимного притяжения и отталкивания проводников с током, в зависимости от того, совпадают ли направления электрического тока в них или противоположны. Второе открытие было связано с изобретением соленоида. Демонстрируя свои идеи Ампер свернул провод в спираль и, пропустив по нему ток, обнаружил, что получившийся соленоид по своим свойствам ничем не отличается от магнита. Каждый магнит, утверждал Ампер, представляет собой множество естественных соленоидов, по которым текут крошечные круговые токи. Известный гальванический ток, циркулирующий в каждой частице вещества, создает ее природный магнетизм, поэтому только электрический ток определяет все магнитные свойства тел. Пока оси этих круговых токов ориентированы беспорядочно, магнитные свойства не проявляются. Стоит всем осям выстроиться в определенном направлении по какой-либо причине, стать параллельными, тело и вещество (например, железо) становится магнитом. С этого момента французы стали называть этого ученого «наш Великий Ампер». А в современной науки и технике имя Ампера увековечено в единицах измерения силы тока.

возникновении электрической волны при движении магнита появилась в дневнике Фарадея 17 октября 1831г. Так было открыто явление электромагнитной индукции, а железное кольцо с двумя обмотками стало прообразом будущих трансформаторов. Поставив обратную задачу: получить ток из обыкновенного магнита и мотка проволоки, он создает новый вид источников тока. Установив между полюсами большого магнита Королевского общества вращающийся медный диск и соединив его скользящими контактами с гальванометром, Фарадей получил источник переменного тока, создав первую динамо-машину, или *первый генератор переменного электрического тока*. Открытие Фарадея послужили началом исследований нового вида машинного электричества и новой области техники – электротехники, которая и законами, и материалами сильно отличалась от механики.

Идеи и опыты Фарадея не были оформлены математически. Общее правило, определяющее направление индуцированных токов ему сформулировать не удалось. Эту теоретическую задачу решил в 1834г. молодой профессор Петербургского университета Эмиль Христианович Ленц. После блестящих экспериментов он сформулировал *обобщенный закон индукции*, который в современном виде звучит так: *индукированное напряжение равно скорости изменения магнитного потока*.

В своем знаменитом докладе Петербургской Академии наук Ленц писал, что все без исключения опыты электродинамического распространения (индукционных токов) могут быть очень простым способом сведены обратно к законам электродинамических движений, так что если эти законы известны, то и все явления индукционных токов могут быть выведены из них. Его вывод звучал так: «каждому явлению движения под действием электромагнитных сил должен соответствовать определенный случай электромагнитной индукции». Другими словами, каждому электромагнитному явлению соответствует определенное магнитоэлектрическое явление. Ленц вместе с Б.С.Якоби установил, что любая магнитоэлектрическая машина, которая служит для производства электрического тока, может быть использована в качестве электродвигателя, если через ее якорь (или арматуру), пропускать ток от постоянного источника. Первое практическое испытание электрического двигателя, сконструированного и построенного в России Борисом Семеновичем Якоби, состоялось в 1839г. на Неве. Шлюпка, снаряженная

новым устройством и колесом, пошла против течения под дружные аплодисменты.⁵⁸

Попытку обобщить опытные данные и создать математический фундамент теории электромагнитных явлений в середине века предприняли сразу несколько ученых: Франц Нейман, Густав Теодор Фехнер, Вильгельм Эдуард Вебер. Но удалось это только Максвеллу. Теоретическое предсказание Максвелла о распространении электромагнитных волн экспериментально было подтверждено в 1888г. Генрихом Герцем, создавшим первый колебательный контур с антенной. Используя уравнения Максвелла, Герц рассчитал поле излучения антенны. Было установлено, что электромагнитное поле является носителем энергии. В исследованиях Джоуля и Ленца была установлена связь между электрическими и тепловыми явлениями.

Таким образом, к концу XIXв. физика оформляется как область экспериментальных и теоретических исследований материальных процессов в природе, в основании которых лежат разнообразные взаимодействия: механические, тепловые, гравитационные, электромагнитные.

Проблема описания единства электромагнитных явлений создает предпосылки формирования теоретической науки. Фундаментальным становится понятие *электродинамические силы*, введенное Фарадеем. Эти силы объясняются с помощью магнитного поля, которое в свою очередь рассматривается как результат изменения электрического поля. Целью физической науки становится создание единой теории наблюдаемых взаимодействий. Максвелл формулирует главную цель точной науки – «свести проблемы естествознания к определению величин при помощи действий над числами». В теории Максвелла представлена геометрическая модель электрических и магнитных сил, учитывающая направление этих сил. Основными элементами выступают не частицы или заряды, а напряженности магнитного и электрического полей, которые представлены функциями четырех независимых переменных: трех координат и времени.

Максвелл ввел *понятие тока смещения*, равного производной по времени от индукции электрического поля. Считая ток смещения такой же реальностью, как и ток проводимости, Максвелл полагал, что именно токи смещения создают магнитное поле. Еще одна идея Максвелла была связана с

⁵⁸ Однако проанализировав экономическую эффективность своего двигателя, Якоби пришел к выводу, что его применение в существующих условиях нецелесообразно. Паровые машины были эффективнее. С именем Якоби связано открытие гальванопластики, а также изобретение кабельной телеграфной линии. Первые телеграфные линии соединяли Зимний Дворец и Главный штаб, Зимний Дворец – Главное управление путей сообщения и публичных зданий, Петербург – Царское село. Способ электрического подрыва мин, изобретенный Якоби, применялся в Крымскую войну.

размерами молекул. Сначала он представлял молекулы как упругие тела, но позже пришел к выводу, что можно не вводить в расчеты конечные размеры молекул, а рассматривать их как центры, отталкивающиеся друг от друга пропорционально пятой степени расстояния.

Конец века в развитии физики завершается открытием электрона (Дж.Дж. Томсон – 1897г.) и X-лучей, обладающих сильной проникающей способностью (Рентген – 1895г.). Этому предшествовало экспериментальное изучение газоразрядных процессов. Загадка атмосферного электричества (в частности молнии) издавна занимала умы ученых. В середине XVIIIв. складывается представление о молнии как электрической искре огромных размеров. С тех пор газовые электрические разряды становятся объектом физических исследований. В XIXв. Фарадей, изучая токи в жидкостях и газах, впаял в частично откачанный стеклянный баллон два электрода, назвал положительный - *анодом*, а отрицательный – *катодом* и тщательно описал световые явления, возникающие при подведении к электродам высокого напряжения. В середине XIXв. немецкий механик и физик Генрих Гейсслер изобрел ртутный вакуумный насос (1855) и газоразрядную трубку (1858). Если в такой трубке находился воздух при атмосферном давлении, то при небольших напряжениях между катодом и анодом тока в электрической цепи не возникало. При сильном напряжении (около 30 кВ/см), в трубке возникает искровой разряд. При понижении давления между электродами возникает светящаяся тонкая нить газа, затем нить начинает расширяться, резко проявляется различие в свечении прианодной и прикатодной областей, свечение охватывает весь объем трубки. Было установлено, что свечение в объеме трубки неоднородно. Вблизи катода область свечения более узкая и отделяется от анодного свечения темной областью, которая получала название «фарадеево темное пространство». Газовый разряд оказался в центре внимания исследователей. До конца века не удавалось объяснить природу катодных лучей.

В 1897г. Дж.Дж.Томсон ставит свой знаменитый опыт, в котором стеклянная трубка содержит дополнительное устройство, фокусирующее луч, который оставляет след на люминофоре, покрывающем стекло напротив катода. В сущности, Томсон создает прототип электронно-лучевой трубы (кинескопа), которая применяется в современной телевизионной технике.⁵⁹

⁵⁹ В конструктивном, завершенном виде осциллографическая электронно-лучевая трубка была создана немецким физиком К.Ф.Брауном, лауреатом Нобелевской премии по физике 1909г. Матышев А.А. Атомная физика. Ч .1. СПб., 2003, с.143.

Томсона интересовала, прежде всего, физическая сущность происходящих процессов. Дополнив конструкцию электромагнитом, он исследовал электродинамическую силу, действующую на предполагаемые отрицательно заряженные частицы, составляющие катодные лучи. Формула расчета этой силы была известна. Сейчас эту силу называют *силой Лоренца*.⁶⁰

Определив в результате опытов отношение заряда к массе предполагаемой частицы, он обнаружил, что для катодных лучей это отношение превышает более чем в 1000 раз больше, точнее в 1836 раз, отношение для водорода. Никакой известной частице такое отношение заряда к массе не подходило. Сопоставляя длину свободного пробега атомов и молекул в таких же условиях, Томсон делает вывод, что катодные лучи представляют собой поток мельчайших частиц, который в 1836 раз легче водорода, несут отрицательный заряд e , равный заряду электролитических ионов, и являются кирпичиками, входящими в состав всех атомов. Так была открыта первая элементарная частица.

Первоначально Томсон назвал эту частицу корпускулой, позднее ее стали называть *электрон*, благодаря исследованиям голландского физика Хендрика Антона Лоренца (1853-1928), создавшего электродинамику движущихся сред. Его теория предполагала существование эфира как неподвижной среды, заполняющей пространство. В эфире движутся атомы, состоящие из элементарных электрических зарядов, при этом по его предположению заряды могут существовать отдельно от атомов в виде свободных электронов. Природу электрона Лоренц связывал с деформацией эфира. Лоренц показал, что ток проводимости, наблюдаемый при электролизе и в газоразрядных процессах, не является самостоятельным, т.к. в его основе лежит *конвекционный ток* (движение ионов в электролитах и электронов в металлах). В электронной концепции Лоренца диэлектрические и магнитные свойства тел сводились к поляризации и молекулярным токам, переставая быть первичными характеристиками среды. Лоренц придал этим характеристикам статистический характер, вычисляя их как статистически усредненные величины большого числа электрических и магнитных дипольных моментов. На основе представления о зарядах, движущихся в неподвижном эфире, была создана электродинамика движущихся сред. Сила, действующая на элементарный заряд (элементарную частицу) в электромагнитном поле, названа *силой Лоренца*. Теоретические выкладки

⁶⁰ $\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, где q – величина заряда частицы, \mathbf{E} – вектор напряженности электрического поля, \mathbf{B} – вектор индукции магнитного поля.

Лоренца при расчете движений частиц со скоростью, сравнимой со скоростью света в эфире, были использованы в начале XXв. А.Эйнштейном при создании теории относительности и вошли в современную физику под названием «*преобразования Лоренца*».

Открытие X-лучей Конрадом Рентгеном (1845-1923),⁶¹ исследовавшим катодные лучи, осталось загадкой в XIXв. Лучи Рентгена действовали на фотопластинку, вызывали ионизацию воздуха, но заметным образом не отражались от каких-либо веществ и не испытывали преломления. Электромагнитное поле не оказывало никакого влияния на их распространение. Последующие опыты показали, что X-лучи возникают при торможении быстрых электронов любым препятствием, в частности металлическими электронами. Природа рентгеновских лучей – радиоактивность была установлена уже в следующем веке.

В ходе изучения катодных лучей было осознано, что атомы не являются неделимыми частицами материи, а имеют сложную структуру. Директор Кавендишевской лаборатории Джозеф Джон Томсон (1856-1940), сыгравший в этом ведущую роль, получил в 1906г. Нобелевскую премию по физике за заслуги в области теоретических и экспериментальных исследований проводимости в газах.

В конце XIXв. физики пытаются свести природу света и электродинамику к механическим процессам, отдавая приоритет гипотезе эфира. Распространение электромагнитных волн рассматривается с участием эфира. Только в XXв. гипотеза эфира, как светоносной субстанции (вещества) и абсолютной системы отсчета была отвергнута. Опыт американского ученого Альберта Майкельсона (1852-1931), поставленный с целью обнаружения эфирного ветра в Потсдаме (1881) и повторенный в Кливленде (1887), дал отрицательный результат и стал той чертой, за которой эфир перестал существовать в качестве физической реальности. Гипотеза эфира была последней попыткой объяснить все происходящее в природе на основе механики. С крушением этой гипотезы на первый план выдвинулась идея непрерывности материи, принцип близкодействия и новый вид физической реальности - *поле*.

⁶¹ Рентген был первым физиком, получившим Нобелевскую премию.

3.3 Теоретические основания классической химии

Оформление химии в естественнонаучную дисциплину, предметом которой является исследование, описание и объяснение природных элементов, их соединений и взаимных превращений связано с развитием *атомно-молекулярного учения о строении вещества* (химической атомистики). Первый шаг к созданию этого учения сделал учитель из Манчестера Джон Дальтон, установивший в 1801г. закон парциальных давлений газов (I закон Дальтона): давление смеси газов, не взаимодействующих друг с другом, равно сумме их парциальных давлений. Два года спустя, исследуя растворимость газов в жидкостях, он обнаружил, что каждый газ растворяется таким образом, как если бы он один занимал весь данный объем (II закон Дальтона).

В XIXв. ученые заняты проблемой строения сложных веществ и поиском числа простых элементов - частиц, образующих ячейку (элемент) сложного вещества. Окончательно устанавливается понятие *химический элемент*. В середине века было известно уже около 60 природных химических элементов. Дальтон, пытаясь объяснить строение сложных веществ, сформулировал правило, согласно которому, если при взаимодействии двух веществ получается одно соединение, то оно бинарное, если образуются два соединения, то одно бинарное, а другое тройное, то есть состоит из трех атомов (мельчайших неделимых далее частиц). Этот подход в исследовании строения вещества привел к разграничению атомов (мельчайших частиц, определяющих природу химического элемента) и молекул (мельчайших частиц, определяющих природу вещества).⁶²

В 1808г. Дальтон формулирует закон простых кратных отношений: если два элемента образуют несколько химических соединений, то количества одного из элементов, приходящиеся в этих соединениях на одинаковое количество другого элемента, находятся между собой в простых кратных отношениях, то есть относятся друг к другу как небольшие простые числа.

Впервые положения атомистической теории Дальтона были заявлены в лекции «Об абсорбции газов водой и другими жидкостями», которую он прочитал 20 октября 1803г. в литературно-философском обществе Манчестера. Дальтон строго разграниril понятия атом и молекула, которую называл сложным, или составным атомом, подчеркивая, что эта сложная частица является пределом химического деления соответствующих веществ.

⁶² Применяя сформулированные им правила, Дальтон пришел к выводу, что вода – бинарное соединение водорода и кислорода (состоит из одного атома водорода и одного атома кислорода, ее формула – HO), веса которых относятся друг к другу как 1:7.

Состав вещества однороден в отношении молекул, свойства веществ определяются свойствами молекул. Таким образом, корпускулярное учение о строении вещества приобрело современный понятийный аппарат. Появилось понятие атомного веса химического элемента. Было проведено разграничение между строением химического элемента (зависящим от атомного веса) и молекулярным строением вещества, между свойствами атомов и молекул.

В 1804г. состоялась встреча Дальтона с известным английским химиком Т.Томсоном, который изложил атомистическую теорию Дальтона в третьем издании своей книги «Новая система химии». Джон Dalton по праву считается создателем химической атомистики. Он впервые ввел представления об атомах химических элементов и молекулярном строении вещества (в современном значении), объяснил на основе своей теории состав различных химических веществ, определил их относительные молекулярные веса. Тем не менее, понадобилось еще почти полвека для окончательного утверждения атомно-молекулярного учения. Этому способствовало развитие способов определения атомных и молекулярных весов, открытие ряда количественных законов: закона постоянства состава (Ж. Пруст - 1808), закона простых объемных отношений для газов (Ж. Гей-Люссак - 1808), закона Авогадро (1811). Согласно закону Авогадро, при одинаковых условиях одинаковые объемы всех газов содержат одно и то же число молекул. Все эти законы хорошо объяснялись с позиции атомно-молекулярного учения. Экспериментальное обоснование этому учению дал Й.Б. Берцелиус.

Официально атомно-молекулярное учение было признано на I Международном конгрессе химиков (1860).

Получение в 1828 г. немецким химиком Фридрихом Велером (1800-1882) искусственного органического вещества (мочевины) положило начало технологии синтеза органических веществ. В 50-60-е гг. XIXв. на основе учения о валентности и химической связи была разработана теория химического строения органического вещества (А.М.Бутлеров – 1861), открывшая путь новой области химии – стереохимии (Дж.Г.Вант-Гофф - 1874), исследующей пространственное строение органических соединений. Во второй половине века складываются новые направления химических исследований: физическая химия, химическая кинетика (учение о скоростях химических реакций), теория электролитической диссоциации, химическая термодинамика.

Общий теоретический подход в химии, сложившийся в XIXв., ставил определение свойств химических веществ в зависимость не только от

элементного состава, но и от структуры элементов и их соединений. Развитие атомно-молекулярного учения привело к идеи о сложном строении не только молекулы, но и атома. Первым эту мысль в XIX в. высказал английский ученый У.Праут, обобщив результаты измерений, показавших, что атомные веса элементов кратны атомному весу водорода. Праут выдвинул гипотезу, согласно которой атомы всех элементов состоят из атомов водорода.

Идея о сложном строении атомов получила новую поддержку в работах Д.И.Менделеева (1834-1907), который предположил, что между химическими элементами природы существует закономерная связь, определяемая возрастанием атомного веса элемента. В своих главных трудах «Основы химии» (1869-1871) и «Периодический закон» Д.И.Менделеев выдвинул идею, что *свойства элементов изменяются в периодической зависимости от их атомных весов*. В 1871г. он создает Периодическую Систему Химических Элементов, где известные природные элементы расположены последовательно в соответствии со своим атомным весом, выделено их химическое родство, которое выражается в сходстве реакций. Система Менделеева отражала единство химических элементов природы, связи между ними, а также их реальные превращения.

Периодический закон и периодическая система элементов сыграли решающую роль в развитии ряда смежных с химией наук, а также химической технологии и промышленности, стимулировали развитие учения о строении атома, привели в XXв. к открытию новых элементов.

К концу XIXв. теоретическая основа химии оформляется в виде атомно-молекулярного учения о строении вещества. Ее основные положения:

- 1) Материальной основой вещества являются атомы; атом – наименьшая частица химического элемента; строение атома определяет свойства элемента.
- 2) Число атомов равно числу химических элементов (в XIX в. – известно 60, в настоящее время – 116).
- 3) Атомы разных наименований различаются атомным весом; при обычных условиях атомы отдельно существовать не могут, а образуют химические соединения (одноименные атомы образуют молекулы элементов, например, водород – H_2 , разноименные атомы образуют молекулы соединений, например, H_2O);
- 4) Атомы элементов не меняются в результате химических реакций, молекулы при любой химической реакции изменяются.

5) Вещество не заполняет целиком занимаемое им пространство, оно состоит из отдельных частиц (молекул), находящихся на малом расстоянии друг от друга.

6) Молекула – наименьшая частица данного вещества, обладающая его химическими свойствами; свойства молекулы определяются ее составом и химическим строением; число видов молекул исчисляется количеством возможных соединений атомов (порядка миллиона).

7) Элементы – вещества, состоящие из одинаковых молекул, которые состоят из одного или нескольких одинаковых атомов (газообразные элементы имеют двухатомное строение, металлы – одноатомное).

8) Соединения - вещества, состоящие из одинаковых молекул, каждая из которых состоит из разных атомов; смеси – вещества, состоящие из разных молекул.

9) Химическое соединение атомов объясняется на основе понятия валентность, которое отражает способностью атомов одного элемента соединяться с одним или несколькими атомами другого элемента.

10) При каждой химической реакции молекулы реагирующих веществ распадаются на атомы, затем свободные атомы соединяются в новые молекулы.

3.4 Концептуальные основания биологии

Оформлению биологии в специальную область исследований живой природы, охватывающую ботанику, зоологию, физиологию и возникшие новые направления, способствовало создание *клеточной теории живого вещества* в 30-х гг. XIXв. Ее авторы - ботаник Матиас Якоб Шлейден (1804-1881) и профессор биологии Теодор Шванн (1810-1882). Первый установил, что все растения состоят из клеток, второй распространил это учение на весь животный мир. Т.Шванн полагал, что жизнь клеток определяется не содержимым, а главным образом оболочкой. Клеткам тканей и организмов он придавал большую автономию, поэтому свойства организмов сводились к сумме свойств отдельных клеток. Кроме того, Шванн полагал, что клетки возникают из неклеточного вещества. Деление клеток было открыто позже. Первым этот факт обнаружил московский ботаник И.Д.Чистяков (1843-1877), но в истории биологии это открытие приписывается гистологу В.Флемингу (1843-1905), который показал последовательность прохождения всех стадий деления клетки и ввел термины «митоз» и «амитоз».

Российский ученый Карл Эрнст фон Бэр (Карл Максимович) (1792-1876) показал, что любой многоклеточный организм развивается из одной клетки (зиготы – оплодотворенной яйцеклетки). В своем фундаментальном труде «История развития животных» К.М.Бэр заложил основы эмбриологии.

Ученик Мюллера Р.Вирхов в 1858г. более точно сформулировал клеточную теорию, доказав, что живая клетка возникает только путем деления, следовательно, живое может возникнуть только из живого. В исследованиях Р.Вирхова и Э.Геккеля было установлено, что передача наследственных признаков происходит с помощью ядра клетки. Эти открытия также легли в основание клеточной теории строения живого организма, которая стала основанием современной микробиологии.⁶³

Основной объединяющей идеей в области исследования живой природы выступила *идея эволюции живых организмов*, выдвинутая Жаном Батистом Ламарком (1744-1829). Термин «биология» также был предложен Ламарком. В труде «Философия зоологии» (1809г.) он изложил первую теорию эволюционного развития живого мира. Ламарк отверг господствовавшее представление о постоянстве видов и показал, что природа создала многообразие живых существ, благодаря наследуемости новых свойств, возникающих под воздействием внешних условий на протяжении длительного времени. При этом главной причиной изменения видов является действие на живые тела факторов среды: климата, почвы, пищи, света, тепла, атмосферного влияния и т.д.

В учении Ламарка были выделены два независимых направления эволюции живых существ:

- *градация* (развитие от простого - к сложному); усложнение организации живых существ происходит в соответствии с заложенным в них изначально стремлением к совершенствованию;

- *естественное изменение организмов* под воздействием окружающих условий, в результате чего возникает разнообразие видов на каждой ступени градации.

Ламарк сформулировал два естественных закона изменения организмов в виде 1) принципа упражнения и неупражнения органа и 2) принципа наследования благоприобретенных признаков. Первый принцип отражал существующие факты, но не объяснял развитие большинства адаптивных

⁶³ В современной биологии основные положения клеточной теории формулируются следующим образом: 1) клетка – универсальная структурная единица живой материи; 2) каждая клетка ведет свое происхождение только от другой клетки; 3) клетки всех организмов имеют сходное строение; 4) клетки многоклеточного организма связаны между собой, образуют целостную систему. Левитин М.Г., Левитина Т.П. Общая биология. –СПб, 2005. с.21.

признаков, несущих защитную функцию (например, панцирь черепахи). Второй принцип до сих пор не подтвержден эмпирическими фактами. Учение Ламарка было встречено враждебно. Против эволюционного учения выступил Ж.Кювье, третируя Ламарка как фантазера.

Жорж Кювье (1769 – 1832) известен как основатель сравнительной анатомии и палеонтологии, разработавший принцип «корреляции частей организма». Согласно этому принципу, каждая форма животного организма представляет собой замкнутую систему, части которой взаимно соответствуют как в отношении их строения (закон соподчинения органов), так и в отношении их функции (закон соподчинения функций – органические корреляции). Изменение одной части неизбежно влечет за собой соответствующее изменение другой части организма. Поэтому на основании знакомства с одной частью можно судить о целом организме. Принцип корреляции частей у Кювье носил чисто теологический характер. Кювье полагал, что творец всех существ (Бог), создавая все живое, мог руководствоваться только одним законом – необходимостью дать каждому из своих творений средства для поддержания существования. Таким образом, Кювье считал принцип конечных причин единственным основанием, на которое могут опираться естественные науки, а приспособленность организма к среде рассматривал с идеалистических позиций.

С помощью разработанного сравнительно – анатомического метода Кювье проследил изменения и соотношения органов во всех разделах животного царства, ввел понятие о типах в биологии (одновременно с русским эмбриологом К.М.Бэром), впервые соединил в один тип позвоночных четыре класса: млекопитающих, птиц, амфибий и рыб. Прочих животных Кювье отнес к остальным трем типам – членистоногих, мягкотелых, лучистых. В основу классификации типов живых организмов он положил строение нервной системы, управляющей всеми функциями организма.

Принцип корреляции органов дал возможность Кювье реконструировать ископаемые организмы по немногим частям, найденным при раскопках. Кювье описал новые формы ископаемых рептилий, птиц, рыб и млекопитающих и, что особенно ценно, установил связь между ископаемыми формами и слоями земной коры, в которых они были найдены. Он показал, что при переходе от древних пластов земли к молодым в геологическом отношении пластам ископаемые формы усложняются в своем строении. В самых древних слоях ископаемые совсем отсутствуют.

В классификации Кювье явно просматривалась линия эволюции. Однако теоретические взгляды Кювье находились в резком противоречии с полученными фактами. Он не признавал общности происхождения животных в пределах установленных им типов, считая виды постоянными и неизменными. Пытаясь привести сделанные открытия в соответствие со своими представлениями, Кювье выдвинул *теорию катастроф* (или катализмов), которая должна была доказать отсутствие преемственности между сменяющими друг друга формами жизни. По мысли Кювье, грандиозные катастрофы на значительной части земного шара уничтожали весь органический мир, после чего появлялись новые формы. Кювье полностью отвергал как учение Ж.-Б.Ламарка об изменяемости живой природы, так и положение Э.Жоффруа Сент-Илера о единстве организации животных. Бесспорной заслугой Кювье было создание точного метода исследования и накопления фактического материала о строении живых организмов.

Развернувшаяся в 1830г. дискуссия между Кювье и Сент-Илером закончилась победой Кювье, который был сторонником концепции *креационизма* во взгляде на возникновение видов живых существ. Концепция *трансформизма* (Ж.Бюффон, Эразм Дарвин, М.В.Ломоносов), в которой утверждалась преемственность видов и выстраивалась «лестница существ», а также выдвинутое в начале века эволюционное учение Ламарка остались не признанными авторитетной наукой.

В середине века Чарльз Дарвин (1809-1882) создает *теорию эволюции видов на основе естественного отбора*. Анализируя данные, накопленные в ботанике и зоологии, а также сельскохозяйственную практику, Дарвин приходит к выводу, что современный органический мир – не результат божественного творения, а результат длительного развития организмов от одной или нескольких простейших форм.

Основные понятия теории Дарвина – наследственность, изменчивость, борьба за существование. Учение Дарвина об эволюции как естественном отборе охватывало сложный комплекс биологических явлений, начиная от изменчивости, исследования произошедших изменений и кончая выживанием наиболее приспособленных организмов в процессе борьбы за существование.⁶⁴

⁶⁴ Идею о выживании наиболее приспособленных организмов как законе природы до Ч.Дарвина высказали английские ученые Э.Блитт (1810-1873) и П.Мэттью (1790-1871), выделив эту линию как основную стратегию жизни и сохранения вида, которая приводит к соответствию органов и условий жизни. Это соответствие просматривается на всех уровнях живой природы: от клеточного - до популяционного.

Данные для обоснования своей теории Дарвин собирал в течение многих лет. Первый очерк теории он не публиковал в течение многих лет, продолжая собирать и анализировать новые данные. Знаменитый труд Дарвина "Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствующих пород в борьбе за жизнь" вышел в свет лишь в 1859г. Известно, что стимулом, ускорившим опубликование Дарвином его работы, был труд А.Уоллеса (1823-1913), независимо пришедшего к близким выводам. Обе работы были совместно доложены в 1858г. на заседании Линнеевского общества в Лондоне. А.Уоллес, ознакомившись с трудом Дарвина, полностью признал его приоритет, считая, что Дарвин проанализировал эволюционный процесс гораздо шире и глубже.

Основные принципы своего эволюционного учения Дарвин свел к следующим положениям:

1. Каждый вид способен к неограниченному размножению.
2. Ограничность жизненных ресурсов препятствует реализации потенциальной возможности размножения. (Большая часть особей гибнет в борьбе за существование и не оставляет потомства).
3. Гибель или успех в борьбе за существование носят избирательный характер. Организмы одного вида отличаются друг от друга совокупностью признаков. В природе преимущественно выживают и оставляют потомство те особи, которые лучше приспособлены. Такое избирательное выживание и размножение наиболее приспособленных организмов Ч.Дарвин назвал естественным отбором.
4. Под действием естественного отбора, происходящего в разных условиях, группы особей одного вида из поколения в поколение накапливают различные приспособительные признаки. Они приобретают настолько существенные отличия, что превращаются в новые виды.

Учение Дарвина встретило ожесточенные нападки со стороны духовенства и части ученых. Попытки опровергнуть дарвинизм постоянно предпринимаются до сих пор. Теорию Дарвина поддержали прогрессивные ученые того времени: Т.Гексли, А.Уоллес, К.А.Тимирязев, И.М.Сеченов, И.И.Мечников и др.

Труды Ч.Дарвина оказали сильное влияние не только на биологию, но и на общечеловеческую культуру, способствуя развитию естественнонаучных взглядов на развитие живой природы и самого человека. Наряду с английским естествоиспытателем Чарльзом Лайелем (1797-1875) Ч.Дарвина называют также основателем современной геологии. Трехтомный труд Ч.Лайеля «Основы геологии», где подчеркивалась идея длительного существования и развития Земли, сыграл решающую роль в возникновении этой области естествознания и оказал большое влияние на дальнейшее становление эволюционной

Часть 4. История развития неклассической науки в XX в.

4.1 Критерии и идеалы теоретической науки

Принципы построения математической и физической теории.

В начале ХХв. формируется новый стиль научного мышления. Его становление связано с особым содержательно-формальным подходом к описанию и обобщению экспериментальных фактов. В естествознании складываются определенные требования к логической строгости выдвигаемых концепций и теорий, формулировке вводимых понятий, постановке научных проблем, способам обоснования и проверки гипотез.

Стандарт логически строгой теории, который стал образцом естественнонаучной теории, оформился в начале века в математике. Его содержание раскрывают следующие положения.

1) Любая (математическая и физическая) теория имеет дело с одним или несколькими множествами объектов, соответствующим образом идеализированных и формально математически представленных и связанных между собой некоторыми отношениями, которые также представлены формально (например, в виде функции).

2) Основные (фундаментальные) свойства объектов и принципы отношений формулируются в виде аксиом (в математике), постулатов, законов или принципов (в физике, например, закон сохранения энергии, принцип относительности).

3) Теория должна быть применима к любой системе объектов, для которых фиксируются отношения, удовлетворяющие системе аксиом или основных принципов, положенной в ее основу.

4) Теория может считаться логически строго построенной, если при ее развитии все новые объекты, их свойства и отношения между ними, выводятся формально из аксиом, постулатов или принципов.

В физике начала века оформляется область чисто теоретических исследований. В отличие от экспериментальной области ее предметом становится обнаружение и анализ скрытых фундаментальных свойств и отношений, которые принципиально не наблюдаются и проявляются только опосредовано (как следствия).

Идеал теоретического естествознания в науке ХХ в. дает физическая теория, для которой характерны:

- формальный математический язык описания явлений;

- аксиоматическое основание теории в виде постулатов или фундаментальных принципов;

- выводное, гипотетико-дедуктивное построение теоретического знания;

- разработка математических моделей, выражающих концептуально построенное знание.

Теоретическая физика теряет свою наглядность. Геометрические модели, характерные для физики прошлого века, сменяются идеализированными формальными, символическими построениями, в которых реальные процессы мыслятся. Физическая реальность предстает в таком виде, что ее наглядная интерпретация оказывается очень сложной задачей.

Математика и естествознание.

Ученые всех областей стремятся овладеть методами математики и эффективно применить ее средства для выражения физической сущности, лежащего за пределом наблюдаемого. В связи с этим расширяется *область математики*. В ее круг входят отношения между векторами и операторами в функциональных пространствах, разнообразие пространств любого числа измерений. Расширяется область прикладных вычислительных методов, возникает область философских проблем, связанная с переосмыслением исходных положения теории множеств и логических приемов доказательства. На рубеже веков область математики определялась четырьмя направлениями: арифметика и алгебра, математический анализ, геометрия, аналитическая механика и механическая физика. В XXв. она включает: математическую логику, алгебру, теорию чисел, геометрию, топологию, аналитическую геометрию, комплексный анализ, теорию вероятностей, математическую статистику, теорию представлений, вещественный и функциональный анализ, дискретную математику, комбинаторику, информатику и теорию групп. В конце XIXв. в области математики работало около тысячи человек, к последнему десятилетию XX в. - работает около 300 тысяч специалистов.

Создание *теоретической физики* в начале XX в. связано с именами французского математика, профессора Парижского университета Анри Пуанкаре (1854-1912), голландского физика-теоретика и математика Хендрика Антона Лоренца (1853-1928), немецкого физика-теоретика Альберта Эйнштейна (1879-1955). Творчество Эйнштейна оказало большое влияние на развитие физики, математики, космологии, стало символом нового стиля научного мышления. В своей работе «Физика и реальность» Эйнштейн сформулировал методы и принципы теоретической физики, которые определяют ее основы и в настоящее время. Главную задачу теоретической

науки он видел в построении единой научной картины мира. Принципиальный метод теоретического научного исследования Эйнштейн связал с поиском «общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира».

Наука, по определению Эйнштейна – это попытка привести хаотическое многообразие нашего чувственного опыта в соответствие с некоторой единой системой мышления. В этой системе отдельные опыты сопоставляются с теоретической структурой таким образом, чтобы вытекающие отсюда соответствие было однозначным и убедительным. Чувственные восприятия нам заданы; но теория, призванная их интерпретировать, создается человеком в результате исключительно трудоемкого гипотетического процесса, который никогда не закончен. Способ образования понятий в науке отличается от применяемого в повседневной жизни точными определениями понятий и следствий, тщательным отбором экспериментального материала и большей экономией мысли (стремлением свести все понятия и соотношения к возможно меньшему числу логически независимых друг от друга аксиом и понятий). Говоря о развитии метода теоретической физики, Эйнштейн подчеркивает, что «теоретик нуждается в некоторых общих предположениях, так называемых принципах, исходя из которых, он может вывести следствия». Деятельность теоретика разбивается на два этапа. Во-первых, ему необходимо отыскать эти принципы, во-вторых, развивать вытекающие из этих принципов следствия. Для выполнения второй задачи исследователь вооружен еще со школы. Первая из задач сложна, здесь не существует метода, который можно было бы выучить и успешно применять. Исследователь должен, скорее, выведать у природы эти общие принципы, объясняющие множество экспериментально установленных фактов. Пока эти принципы не найдены, факты ничего не говорят теоретику.⁶⁵

Согласно Эйнштейну, законченная система теоретической физики состоит из понятий, основных принципов, относящихся к этим понятиям, следствий, выведенных из них путем логической дедукции. Эти следствия должны соответствовать данным опыта. Логический вывод этих следствий занимает в теоретическом труде почти все страницы. Такое построение физики аналогично евклидовой геометрии, где основные принципы называются аксиомами. Физика охватывает группу естественных наук, основывающих свои понятия на измерениях, причем представления и утверждения этих наук поддаются математическому выражению.

⁶⁵ Эйнштейн А. Физика и реальность. М.1965, с.5-6, 9-10.

Теоретическая физика, полагал Эйнштейн, как теоретическая наука стремится к унификации всех отраслей физики и в перспективе всех отраслей науки. Теоретическую основу он связывал с минимальным числом понятий и фундаментальных соотношений, из которых можно логически вывести все понятия и соотношения отдельных дисциплин. В частности для физики фундаментальным является положение, что существует некоторое реальное состояние, независимое от любых измерений или наблюдений, которое в принципе может быть описано принятыми в физике способами выражения и соответствующими понятиями (материальная точка, поле и другие, которые еще предстоит найти). Критерии физической теории: 1) критерий «внешнего оправдания» - теория не должна противоречить данным опыта; 2) критерий «внутреннего совершенства» - «естественность» и «логическая простота предпосылок.

Фундаментальное значение для последующего развития физики как теоретической науки имела *Специальная теория относительности А.Эйнштейна* (СТО), в которой были сформулированы и представлены математически законы движения частиц со скоростью, близкой к скорости света, развито представление об относительности и взаимосвязи реального пространства и времени.

Предпосылкой и стимулом развития новой физической теории выступила электродинамика Максвелла, породившая проблему реального носителя электромагнитных излучений. На рубеже веков в качестве такого носителя признавали эфир (светоносное вещество, субстанция). Теория эфира пережила новый подъем, ее развивали Г.Герц и Х.А.Лоренц. Эфир в известной мере отождествлялся с пространством и принимался за абсолютно неподвижную систему отчета. Из электродинамики движущихся сред Лоренца следовало различие распространения электромагнитных волн для тел, движущихся с различной скоростью по отношению к эфиру. Этот вывод породил неоднократные попытки экспериментального обнаружения эфира. Идеей поиска эфирного ветра руководствовался Майкельсон, ставя свой знаменитый эксперимент, показавший постоянство скорости света и отсутствие эфирного ветра.⁶⁶ Отрицательный результат опыта Майкельсона привел к смене понятийной основы в объяснении физических взаимодействий. С этого момента в истории физической мысли появляется новое фундаментальное

⁶⁶ История этого эксперимента связана с письмом Максвелла, направленным им английскому астроному Тодду с принципиальным описанием прибора для эксперимента по определению движения Земли и относительно эфира, и опубликованным посмертно в 1880г. Максвелл полагал, что необходимая для эксперимента чувствительность технически недостижима. В 1881г. молодой американский ученый Альберт Абрахам Майкельсон уже провел первый опыт с такого рода прибором.

понятие - *поле*, обозначающее физическую реальность, отличную по своим свойствам и проявлениям от вещества. Как пишет Эйнштейн, «потребовалось большое научное воображение, чтобы уяснить себе, что не заряды и не частицы, а поле в пространстве между зарядами и частицами существенно для описания физических явлений», (в частности, электрических, электромагнитных, оптических). В самом конце 19в. А.Эйнштейн формулирует единую теорию строения вещества и излучения (поля) на основе понятия «электрон», предложенного голландским физиком Х.А. Лоренцем. В 1905г. он публикует положения специальной теории относительности, изменившей классические представления о пространстве и времени.

Главная мировоззренческая новация была связана с введение в систему физического знания 4-х мерного континуума, в котором совершаются мировые события. Идея о том, что время можно рассматривать как 4-е измерение, равноправное по отношению к координатам, вытекала из преобразований Лоренца и была выдвинута немецким математиком Германом Минковским (1864-1909), который полагал, что *время связано с пространством функциональной зависимостью*, не существует отдельно и не может рассматриваться как самостоятельная сущность. Право на самостоятельное существование, по мысли Минковского, получает только «определенная форма их совместного союза» (пространства и времени). Он предложил понятие мировой линии 4-х мерного пространства, которое стали называть пространством Минковского.

Однако гипотеза эфира была настолько влиятельной, признанной и надежной, что физики (и в частности Х.Лоренц) пытались согласовать отрицательный результат опыта Майкельсона с атомистической идеей эфира, который принимался за абсолютную систему отсчета. Именно в этом поиске была выдвинута идея сокращения линейных размеров тел в направлении их движения относительно эфира. Лоренц полагал, что тела действительно сокращаются в направлении движения, и это компенсирует влияние относительности движения на скорость света. Поэтому кажется, что скорость света остается постоянной. Тогда снимается противоречие с принципом относительности и законом сложения скоростей (в соответствии, с которым скорость света должна уменьшаться или увеличиваться в зависимости от приближения или удаления от точки наблюдения). Гипотеза Лоренца обходила факт постоянства скорости света, превращала его в видимость (иллюзию). Несмотря на то, что эта гипотеза оказалось неверной, она привела к новым формулам расчета движения тела, которые отличались от уравнений

движения классической механики. Попытки интерпретировать формулы Лоренца привела к новым представлениям о физической реальности, прежде всего в отношении пространства и его теоретического описания.

4.2 Мировоззренческие и методологические аспекты специальной и общей теории относительности

В становлении новой концепции, изменившей классические представления пространстве и времени, большое значение имели теоретические исследования Анри Пуанкаре, который выделил *фундаментальность принципа физической относительности*, считая, что именно этот принцип дает измерительный инструмент определения пространства. Перенося твердое тело из одного места в другое, мы замечаем, что его можно приложить к одной фигуре, потом к другой, и соглашаемся признать фигуры равными. По мнению А.Пуанкаре, из этого соглашения родилась геометрия.⁶⁷

В физике принцип относительности конкретизируется понятием *системы отсчета*. Для изучения механических явлений в классической физике надо выбрать систему отсчета, имея в виду, что в различных системах отсчета законы движения имеют, вообще говоря, разный вид. Если взять произвольную систему отсчета, то может оказаться, что законы даже простых явлений будут выглядеть в ней сложно. Поэтому главной задачей механики было найти такую систему отсчета, в которой законы движения выглядели бы наиболее просто и одинаково. По отношению к такой системе (которую называют инерциальной системой отсчета) пространство является однородным и изотропным, а время - однородным. В ней свободное тело, покоящееся в некоторый момент времени, остается в покое неограниченно долго. Согласно закону инерции, сформулированному Галилеем, в инерциальной системе свободное движение происходит с постоянной по величине и направлению скоростью или покоятся.

Опыт показывает, что не только законы свободного движения одинаковы в этих системах, но и во всех других механических отношениях инерциальные системы полностью эквивалентны. Существует не одна, а бесконечное множество инерциальных систем отсчета, движущихся друг относительно

⁶⁷ «Каждому возможному состоянию твердого тела в этом случае соответствует некоторое преобразование пространства самого в себя, не изменяющее форм и величин фигур». Пуанкаре А. О науке. М., 1990 с. 551-552. Цит. по Концепции современного естествознания. Хрестоматия. Книга 2. Под ред. А.И.Мозелова. СПб, 2003.

друга прямолинейно равномерно. Во всех этих системах одинаковы свойства пространства и времени, а также одинаковы законы механики. Это утверждение составляет содержание *принципа относительности Галилея*. Полная механическая эквивалентность всего бесчисленного множества инерциальных систем показывает, что не существует никакой одной абсолютной системы отсчета, которую можно было бы предпочесть другим системам. Координаты r и r' одной и той же точки в двух различных системах отсчета K и K' , из которых вторая (K') движется относительно первой со скоростью v , связаны друг с другом соотношением, которое называется преобразованием Галилея: $r = r' + vt$. При этом подразумевается, что ход времени одинаков в обеих системах: $t = t'$. Предположение об абсолютности времени лежит в самой основе классической механики.⁶⁸

Преобразования Галилея отражают наше обыденное представление о неизменности (инвариантности) пространственных и временных масштабов при переходе из одной инерциальной системы в другую. Например, при переходе с платформы в движущийся равномерно поезд длина тела остается прежней, так же как и единица времени.

Переворот в физике в начале XX в. связан с заменой классического принципа относительности *принципом относительности Лоренца*. За десять лет до публикации Эйнштейном специальной теории относительности Лоренц получил уравнения преобразования для движущихся тел с высокой скоростью, близкой к скорости света, показал инвариантность (неизменность) уравнений электродинамики относительно этих преобразований. Лоренц вывел новые правила перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой, в которых к формулам преобразования Галилея добавлялся достаточно сложный элемент, учитывающий отношение скорости движения системы отсчета к скорости света.

Для простоты его обозначают одной буквой γ ($\gamma = 1 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$).

Для тел, движущихся вместе с системой K' относительно неподвижной системы K математическое выражение длины тела и времени выглядит следующим образом: $l = l' \cdot \sqrt{1 - (v/c)^2}$, $\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - (v/c)^2}$,

где l' - собственный размер тела в движущейся системе, l – размер этого тела для наблюдателя из покоящейся системы отсчета; $\Delta t'$ - собственное время (длительность) в движущейся системе, Δt – длительность промежутков

⁶⁸ Классический принцип относительности фиксирует однородность пространства и времени, а также постоянство (одинаковость, неизменность - инвариантность) законов свободного движения для всех инерциальных систем отсчета. См.: Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10т. Т. 1. Механика. М., 2002, с.15-16.

времени в неподвижной системе отсчета, т.е. длительность, воспринимаемая неподвижным наблюдателем для отсчета событий в движущейся системе.

Формулы Лоренца показывают, что длительности единицы измерения времени явно не совпадают в покоящейся и движущейся системе. Замедление течения времени в движущейся системе отсчета (с точки зрения неподвижного наблюдателя) получил название *парадокса близнецов*.

Эффект сокращения линейных размеров и увеличения длительности временного промежутка (единицы времени) в движущейся с большой скоростью системе отсчета Лоренц не мог объяснить. Его оправдывало то, что благодаря найденному формализму уравнения Максвелла оказывались инвариантными в любых инерциальных системах отсчета. Но физический смысл этих уравнений был не ясен.

Первую физическую интерпретацию «принципа относительности Лоренца» предложил А.Пуанкаре.⁶⁹ В противоположность представлениям самого Лоренца, в интерпретации А.Пуанкаре иллюзорно сокращение размеров тела и увеличение длительности течения событий в движущейся системе, а не факт постоянства скорости света. Вывод А.Пуанкаре о том, что пространственные и временные интервалы не инвариантны при переходе из одной системы в другую, противоречил классической механике, прежде всего классическому принципу относительности движения.

Таким образом, в начале века возникло противоречие между механикой Ньютона как теоретической основой физики, законы которой согласуются с принципом относительности, и электромагнитной теорией Максвелла, законы которой не согласуются с этим классическим принципом. Разрешить эту ситуацию физики пытались, подходя к ней с разных сторон.

Точка зрения Лоренца: объявить несостоятельным принцип относительности в применении к электромагнитным явлениям.

⁶⁹ «Если мы предположим, что наша система отнесена не к неподвижным осям, а к осям, обладающим переносным движением, то придется допустить, что все тела деформируются, что шар, например, превращается в эллипсоид, малая ось которого совпадает с направлением переносного движения осей координат. В этом случае время само испытывает глубокие изменения. Возьмем двух наблюдателей, из которых первый связан с неподвижными осями, второй – с движущимися, но оба считают себя находящимися в покое. Мы найдем, что не только та геометрическая фигура, которую первый считал шаром, будет казаться второму эллипсоидом, но что два события, которые первый будет считать одновременными, не будут таковыми для второго. Все происходит так, как если бы время было четвертым измерением пространства, ... Чтобы сравнение было математически верным, этой четвертой координате следует приписать чисто мнимое значение. Четырьмя координатами какой-нибудь точки нашего нового пространства уже будет не x, y, z, t , а $x, y, z, i \sqrt{-1} \dots$ В этом новом представлении пространство и время не являются уже двумя совершенно различными сущностями, которые можно рассматривать отдельно друг от друга, но двумя частями одного и того же целого, столь тесно связанными, что их нелегко отделить друг от друга...». Пуанкаре А. О науке. М., 1990 с. 553-554. Цит. по Концепции современного естествознания. Хрестоматия. Книга 2. Под ред. А.И.Мозелова. СПб, 2003.

Точка зрения Г.Герца: считать неправильными законы Максвелла и преобразовать их таким образом, чтобы они при переходе из одной инерциальной системы в другую не менялись (в соответствии с классическим принципом относительности). Однако выяснилось, что новые уравнения электродинамики не способны объяснить ряд наблюдаемых фактов.⁷⁰

Третий подход – сохранить и принцип относительности, и законы Максвелла. Точка зрения А.Эйнштейна: «противоречия и непоследовательности старых теорий вынуждают нас приписывать новые свойства пространственно-временному континууму, этой арене, на которой разыгрываются все события нашего физического мира». Этот революционный вариант разрешения проблемной ситуации предполагал сомнение в точности классических уравнений движения, стремление выяснить причины, позволяющие согласовать принципы относительности Галилея и Лоренца.

Специальная теория относительности, по словам А.Эйнштейна, возникла из проблемы поля и применима только к инерциальным системам отсчета, то есть к системам, для которых справедлив закон инерции, сформулированный Ньютоном.

Основание специальной теории относительности составляют два принципа: принцип инвариантности физического закона и принцип постоянства скорости света, которые раскрываются в следующих положениях:

- 1) Физические законы одинаковы во всех системах, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга (принцип относительности обобщается и распространяется на все природные процессы, в том числе электромагнитные);
- 2) Скорость света имеет всегда одно и то же значение, не зависит от скорости источника и от скорости приемника светового сигнала ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Чтобы понять принципы и следствия теории относительности, которые легли в основание новой *релятивистской физики* (relative - лат. относительный) в начале XXв. (да и впоследствии) требовалось хорошее воображение и владение формальными математическими средствами.

Первое важное следствие специальной теории относительности - *принцип относительности одновременности*. Два события, одновременные для наблюдателя в неподвижной системе К, не одновременны в движущейся

⁷⁰ Согласно теории Герца, движущаяся вода должна полностью увлекать за собой распространяющийся в ней свет, так как она увлекает эфир, в котором свет распространяется. Опыт же показал, что в действительности это не так.

системе K' . Ни одной из этих систем нельзя отдать предпочтение, поэтому необходимо признать, что одновременность пространственно разделенных событий относительна. Причиной при этом выступает конечность скорости распространения сигнала.

Следующим следствием выступило *положение об относительности промежутков времени*. Согласно теории относительности промежутки времени не являются абсолютными (одинаковыми для всех систем). Выводы о том, что одновременность событий и интервал времени не являются абсолютными, а зависят от скорости движения, противоречат «здравому смыслу», в основании которого лежит повседневный опыт, когда мы сталкиваемся только с малыми скоростями по сравнению со скоростью света. Релятивистские эффекты в земном мире не заметны, мир высоких скоростей недоступен нашим органам чувств, поэтому мы их можем только мыслить.

Третьим следствием было утверждение об *относительности линейной метрики*: расстояние (линейная метрика) не является абсолютной величиной, а зависит от скорости движения тела относительно данной системы отсчета. Если Лоренц рассматривал сокращение линейных размеров движущихся тел как их действительное сокращение по отношению к неподвижному эфиру, то Эйнштейн рассматривает это сокращение как кажущееся для наблюдателя, относительно которого тело движется. Эффект сокращения линейных размеров и замедление длительности временных интервалов - следствие различных процессов измерения, которые оказываются различными в разных системах отсчета (покоящейся и движущейся).⁷¹

Четвертым следствием выступает *релятивистский закон сложения скоростей*. Если тело движется со скоростью v_1 относительно движущейся системы K' , которая в свою очередь движется со скоростью v относительно системы K , то скорость этого тела (v_2) в системе K определяется формулой:

$$v_2 = (v_1 + v) / (1 + v_1 \cdot v/c^2)$$

При малых скоростях, когда $v_1 \ll c$, и $v \ll c$, получаем классический закон сложения скоростей: $v_2 = v_1 + v$. При движении тела в системе K' со скоростью света ($v_1 = c$), в покоящейся системе K скорость также равна скорости света ($v_2 = c$). Так как в предельном случае $v_1 = v = c$, получаем:

$$v_2 = 2c/2 = c.$$

⁷¹ Сокращение размеров обладает свойством взаимности. По словам английского ученого Эддингтона, это можно продемонстрировать на примере отношения Гулливера и лилипутов. Гулливер смотрит на лилипутов как на карликов, и они ему кажутся карликами. Но и Гулливер для лилипутов может казаться карликом. Такое взаимное восприятие следует из релятивистского сокращения линейных размеров.

Из релятивистского закона сложения скоростей следует, что при любых скоростях (сравнимых со скоростью света) результирующая скорость не превышает скорости света. При скорости, большей скорости света, время и длина становятся мнимыми величинами. Таким образом, в релятивистской физике утверждается, что *скорость света (определяющая распространение электромагнитного поля в вакууме) является максимально возможной скоростью передачи взаимодействий в природе.*

На основании законов движения с предельными скоростями формулируется *релятивистская динамика*, в которой понимание массы тела не совпадает с таковым в классической механике Ньютона. Основным положением релятивистской физики выступает утверждение об изменении массы тела в зависимости ее от скорости. При больших скоростях масса не остается постоянной, а возрастает по мере приближения скорости тела к скорости света. Это увеличение незаметно вплоть до скоростей порядка половины скорости света.⁷² В релятивистской динамике по мере увеличения скорости движения масса тела, определяющая его инертные свойства, увеличивается и стремится к бесконечности, поэтому ускорение стремится к нулю, и скорость практически перестает возрастать, сколько бы ни действовала сила.

Развивая идею релятивистской динамики, Эйнштейн показал, что изменение (приращение) массы при увеличение скорости тела пропорционально кинетической энергии, причем коэффициентом пропорциональности выступает число $1/c^2$.

Это следствие специальной теории относительности известно как *закон эквивалентности массы и энергии*: $E = mc^2$.

В релятивистской физике закон сохранения энергии получил новое содержание. То, что любое тело обладает энергией только благодаря факту своего существования, было одним из самых замечательных выводов теории относительности. Появилось новое понятие «энергия покоя» (произведение массы покоя на квадрат скорости света). Масса покоя (или тяжелая масса) получила название гравитационной массы.

⁷² Масса тела возрастает до 8 начальных масс вблизи значения $0,95c$, и возрастает неограниченно при дальнейшем повышении скорости. Однако этот эффект невозможно зафиксировать даже при скорости космической ракеты в 10 км/с, поскольку поправка в изменении массы в этом случае составляет 0,9999999944. Наблюдать релятивистский эффект увеличения массы можно только в специальных ускорителях, разгоняющих частицы малой массы до скоростей, меньших скорости света всего на 90 км/с.

Следствие, предполагающее, что энергия покоя сложного тела меньше суммы энергий покоя составляющих его частиц на величину энергии связи,⁷³ которое легло в основание физики элементарных частиц, исследующей и такие частицы, энергия покоя которых равна 0. Для описания таких частиц было введено новое понятие «релятивистской массы», эквивалентной энергии движения частицы. Релятивистскую массу стали называть инертной массой. Строго говоря, масса любого тела складывается из гравитационной и инертной масс. Но в зависимости от масштаба скоростей преобладает (и реально проявляется) та или другая составляющая.

Специальная теория относительности обосновала новую, неевклидову пространственно-временную метрику, позволившую выделить инвариант относительно преобразований Лоренца, им выступает четырехмерный мировой интервал: $ds^2 = (dx^2 + dy^2 + dz^2) - c^2 \cdot dt^2$.

В *общей теории относительности* Эйнштейн дает более глубокий анализ пространственно временного континуума. Не ограничиваясь только инерциальными системами отсчета, он показывает, что соотношение тяжелой и инертной массы (массы покоя и релятивистской массы движения) является не случайным фактом, а универсальным законом. Пытаясь сформулировать законы для поля тяготения, он анализирует роль, которую играет геометрия в описании физического мира.

Основание общей теории относительности (ОТО) составляют:

- 1) Принцип постоянства скорости света (максимальная скорость распространения волн любой природы равна скорости света в вакууме);
- 2) Принцип эквивалентности (инертная и гравитационная массы идентичны друг другу);
- 3) Принцип геометризации физических взаимодействий: действие гравитации имеет характер искривления пространственно-временного континуума в зависимости от распределения материи. Универсальной константой этой связи пространства, времени и материи является гравитационная постоянная $\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$;
- 4) Принцип локальности метрики пространства-времени.⁷⁴

⁷³ Например, массы всех устойчивых ядер меньше суммы их образующих масс протонов и нейтронов в свободном состоянии. Этот экспериментально доказанный факт получил название «дефект масс».

⁷⁴ В 1908г. Эйнштейн доказал, что каждому количеству энергии в гравитационном поле соответствует энергия, равная по величине энергии инертной массы величиной E/c^2 , и делает вывод о том, что этот закон выполняется не только для инертной, но и для гравитационной массы. Факт равенства этих масс выражен постоянством ускорения свободного падения и установлен еще Галилеем. Но объяснения этого факта до начала XXв. не имел. Эйнштейн показал, что гравитационное поле (в котором проявляется тяжелая, гравитационная масса) эквивалентно ускоренному движению (в котором проявляется масса инертная). В поле тяготения все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо инерциальной системы отсчета ввести

Выражая кратко суть общей теории относительности, Эйнштейн заметил, что «раньше полагали, что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы, теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время».

Первым доказательством справедливости общей теории относительности было обнаружение отклонения света вблизи края Солнца, которое наблюдалось во время полного затмения в 1919г. Целью проведенного в Африке эксперимента было точное измерение положения звезд до и после затмения. Проверялись три версии: расчетные отклонения измерений по Ньютону, по Эйнштейну или отсутствие отклонений. Подтвердились расчеты Эйнштейна, согласно которым должно было наблюдаться большее искривление светового луча.

Вторым подтверждением ОТО было совпадение наблюдаемого и расчетного смещения перигелия планеты Меркурий. Эллиптическая орбита Меркурия медленно поворачивается. На основании закона тяготения Ньютона этот факт объясняется действием других планет. Уравнения Эйнштейна предсказывают вращение эллиптической орбиты даже в отсутствии других планет. В отношении Меркурия расчетная орбита по Эйнштейну ближе к наблюдаемой.⁷⁵

Третье доказательство ОТО было получено при изучении изменения длины волны света в гравитационном поле. В сильном поле тяготения ритмические процессы (колебания атомов) должны идти с меньшей скоростью, чем на Земле, что должно привести к более длинным волнам (покраснению) в спектре излучения Солнца. Этот факт наблюдался, но не принимался в качестве подтверждения ОТО до тех пор, пока в 60-х гг. во Франции не измерили красное смещение одной из линий поглощения стронция в спектре Солнца. К этому времени имелись также наблюдения за спутником Сириуса, создающим красное смещение в тридцать раз большее, чем Солнце. Самое эффектное подтверждение было получено с использованием эффекта Мёссбауэра в лабораторных условиях. Английские

систему, ускоренную относительно нее. Однако оказалось, что тяготение нельзя полностью заменить ускорением, гравитационные силы – силами инерции. Поэтому принцип эквивалентности масс, который сам Эйнштейн называл «счастливейшей мыслью», имеет локальный характер, т.е. требует ограничения масштабов. В 1919г. П.Эренfest показал, что классические физические поля (гравитационное, кулоновское электрическое, магнитное, производимое магнитным зарядом), которые убывают пропорционально квадрату расстояния, должны приводить к потере устойчивости в мире большой размерности. Это привело Эйнштейна к утверждению о локальности метрики пространства-времени.

⁷⁵ Для других планет, орбиты которых близки к круговым, этот эффект трудно наблюдать, но в конце XXв. были произведены измерения вращения орбит Венеры и Земли, результаты которых находятся в хорошем согласии с уравнениями Эйнштейна. См.: Гарднер М. Теория относительности для миллионов. М., 2010.

физики обнаружили, что ядерные часы, помещенные на краю быстро вращающегося диска диаметром 15 см, замедляют свой ход.

Мировоззренческие следствия общей теории относительности представлены следующим утверждениями.

1. Гравитация не сидит ни в одном из тел, ни между ними как необъяснимое нечто, действующее мгновенно. Она сводится к геометрическим свойствам пространства.

2. Свет и все тела движутся по геодезическим (мировым) линиям, вид которых зависит от внутреннего строения пространственно-временного континуума.

3. В общем случае четырехмерный континуум искривлен, и его метрика зависит от распределения масс. Большие массы сильнее искривляют пространство, малые массы лишь слабо деформируют его.

Общая теория относительности, согласно которой структура пространства и времени целиком определяется распределением и эволюцией материи, послужила базой в построении новой физической картины мира, а также и для новых космологических теорий. Наибольшую известность в XXв. получила теория расширяющейся Вселенной, которая в середине века имела две альтернативные интерпретации: теорию Большого Взрыва (Гамов, Леметр) и теорию устойчивого состояния (Хойл).

3. Методологические проблемы фундаментальных физических теорий

3.1 Развитие физики элементарных частиц

В начале XX века возникают новые неклассические области физики, связанные с исследованием строения атома, процессов возникновения и взаимного превращения частиц, лежащих в основании материальных структур. Предпосылками *физики элементарных частиц* стали два величайших открытия конца XIXв.: открытие в 1896г. самопроизвольного излучения урановой соли Антуаном Анри Беккерелем (1852-1908) и открытие Дж.Дж.Томсоном первой элементарной частицы – электрона в 1897г.

Первая модель строения атома, предложенная Дж.Дж.Томсоном в 1903г., просуществовала недолго, но закрепила в сознании ученых представление, что электроны являются составными частями атома любого химического элемента. В модели Томсона электроны плавают в положительно заряженной сфере. Условием равновесия положительного и отрицательного заряда атома

(который электрически нейтрален) выступает сохранение определенного места электронов внутри сферы.

Следующую модель строения атома предложил и обосновал в 1911г. английский физик Эрнест Резерфорд (1871-1937). Вместе со своими учениками Гансом Гейгером (1882-1945) и Эрнстом Марсденом (1889-1970) он обнаружил, что внутри атома существует положительно заряженное ядро, размер которого очень мал по сравнению с размером самого атома. Выступая 7 марта 1911г. на заседании Манчестерского философского общества Резерфорд предложил *планетарную модель строения атома*, полагая, что атом состоит из ядра и электронов, которые вокруг него врачаются. Сравнение с планетарной системой строилось на том, что соотношение размера Солнца (диаметр Солнца $1,4 \cdot 10^6$ км) и Солнечной системы ($6 \cdot 10^9$ км) и соотношением размеров ядра (10^{-12} см) и атома (10^{-8} см) представляют собой сравнимые величины (одного порядка).

Теория строения атома развивалась параллельно с исследованием спонтанного излучения урановых солей, открытого Беккерелем. Наблюдая ионизацию воздуха и разряд наэлектризованных тел под воздействием нового излучения, Беккерель установил два факта: 1) активность урановых солей остается неизменной более года; 2) интенсивность излучения определяется только количеством урана и не зависит от того, в какие соединения он составляет. Природа этого явления была не понятна. Французские физики Пьер Кюри (1859-1906) и Мария Склодовская-Кюри (1867-1934) выявили, что свойством испускать «беккерелевы лучи» обладают и другие вещества – полоний и радий. Это свойство, которое супруги Кюри назвали *естественной радиоактивностью*, указывало на сложный состав атомного ядра.

Еще в 1899г. Беккерель обнаружил, что при прохождении спонтанного излучения через магнитное поле лучи распадаются на две составляющие, которые отклоняются в разные стороны. Вскоре была обнаружена и третья составляющая, которая не отклонялась магнитным полем. Положительно заряженная компонента радиоактивного излучения получила название α – лучи, отрицательная β -лучи, нейтральная – γ -лучи. Три вида излучения отличались проникающей способностью. Наименьшей проникающей способностью обладали положительно заряженные α – лучи, для которых слой бумаги в 0,1 мм толщиной не прозрачен. β -лучи сильно отклоняются в магнитном и электрическом полях, гораздо меньше поглощаются веществом. Алюминиевая пластина задерживает эти лучи при толщине в несколько миллиметров. Наибольшей проникающей способностью обладают γ -лучи, для

них слой свинца в сантиметр толщиной не является преградой. Все это указывало на различную физическую природу открытых лучей.

Опыты Резерфорда показали, что заряд α -частицы равен удвоенному элементарному заряду ($2e$), а масса ее превосходит массу атома водорода, т.е. равна массе атома гелия. Собирая α -частицы внутри специального резервуара на протяжении нескольких дней, Резерфорд с помощью спектрального анализа убедился, что в сосуде действительно скапливается гелий.

При исследовании поведения β -лучей в магнитных и электрических полях было установлено, что они представляют собой поток электронов, движущихся со скоростями, близкими к скорости света.

К середине века складывается *теория радиоактивного распада*, в основу которой положено представление о том, что при радиоактивном распаде вещество испытывает глубокие превращения, отличные от химических. Мысль, высказанная английским химиком Фредериком Содди, что радиоактивность связана с превращениями, которые испытывают сами атомы, - определила стратегию исследования элементарных частиц в последующие полвека. В ходе изучения радиоактивности выяснилось, что существуют вещества, с различными радиоактивными свойствами, но тождественны по своим химическим свойствам. Ф.Содди назвал такие элементы *изотопами* (т.е. занимающими одинаковые места в периодической таблице Менделеева).

Резерфорд опытным путем установил *закон радиоактивного распада*: каждому радиоактивному веществу соответствует определенный интервал времени, на протяжении которого активность убывает в два раза. Этот интервал получил название радиоактивного полураспада. Период полураспада – время, за которое распадается половина наличного числа радиоактивных атомов, – основная величина, характеризующая скорость радиоактивного распада. Для различных веществ она различна. Для урана период полураспада составляет примерно 4,5 млрд. лет. Чем меньше период полураспада, тем интенсивнее протекает процесс превращения. Активность радия много больше урана, для радия период полураспада составляет 1600 лет. Атомы, как правило, стабильны. Распад атома – это "несчастный случай" в его жизни. Для радиоактивных (нестабильных) атомов вычисляют среднее время жизни, которое прямо пропорционально периоду полураспада.

В 1914г была открыта вторая элементарная частица – *протон*, который представлял собой ядро атома водорода. Первое искусственное превращение ядер в истории физики было произведено Резерфордом в 1920г. Бомбардируя

азот α -частицами большой энергии, испускаемых радием, он обнаружил появление новых протонов – ядер атома водорода.

Третья элементарная частица *нейтрон* была открыта в 1932г. в опытах английского физика Д.Чедвика. Существование ее было предсказано Резерфордом за 10 лет до этого. Масса нейтрона оказалась чуть больше массы протона. Именно нейтроны составляли поток γ -лучей.

После открытия нейтрона советский физики Д.Д.Иваненко и немецкий ученый В.Гейзенберг предложили **протонно-нейтронную модель ядра** атома, которая получила подтверждение в последующих экспериментах. Была разработана теория сильных взаимодействий, которые в 100 раз превосходят электромагнитные взаимодействия, и наблюдаются на малых расстояниях между нуклонами (частями ядра). Внутриядерные силы – самые мощные из всех, которыми располагает природа.

Анализ и экспериментальная проверка внутриядерной связи привели к открытию *искусственной радиоактивности* (супруги Фредерик и Ирен Жолио-Кюри - 1934). Благодаря этому открытию ученые смогли получить неустойчивые изотопы тех химических элементов, которые в естественном состоянии стабильны. Большой вклад в теоретическое развитие физики элементарных частиц внес Энрико Ферми (1901-1954), под руководством которого в США была осуществлена первая управляемая цепная ядерная реакция по делению урана.

Вторая половина века отмечена открытием большого числа элементарных частиц и развитием представлений об их природе. Складывается обобщенное понимание элементарной частицы, как субатомной микрочастице особой природы, у которой имеется двойник-античастица.

В 1931г. английский физик-теоретик Поль Дирак предсказал существование позитрона, который является двойником электрона. Встреча (столкновение) электрона и его двойника (античастицы) порождает фотоны большой энергии, сами же частицы исчезают (аннигилируют). Дирак показал, что возможен и обратный процесс – порождение электронно-позитронной пары при столкновении фотона большой энергии с ядром. Спустя два года позитрон был обнаружен с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле. Это открытие вызвало настоящую сенсацию, положило начало представлению об антивеществе и бурным фантазиям на тему антимиров. До этого никто не предполагал, что электрон (старейшая из элементарных частиц, главный строительный элемент атома) может оказаться невечной, исчезнуть. Позже античастицы были обнаружены и для всех других

элементарных частиц. Сравнительно недавно обнаружен антипротон и антинейtron. Атомы, ядра которых состоят из антинуклонов, а оболочки из позитронов, образуют антивещество. В 1971г. в СССР был получен впервые антигелий. При аннигиляции вещества с антивеществом энергия покоя превращается в кинетическую энергию образующихся частиц. Энергия покоя оказывается самым грандиозным и концентрированным резервуаром энергии во Вселенной. Только при аннигиляции она полностью освобождается, превращаясь в другие виды энергии. *Антивещество* – самый совершенный источник энергии, самое калорийное горючее, с точки зрения физики элементарных частиц.⁷⁶

В общей картине мира элементарные частицы заменили демокритовский атом (кирпичик мироздания). Но в отличие от неизменного атома Демокрита, главная характеристика элементарной частицы - время жизни. Большинство известных частиц не могут прожить более двух миллионных долей секунды, даже при отсутствии внешнего воздействия. Например, свободный нейтрон (находящийся вне атомного ядра) живет около 16 минут. Только четыре частицы могли бы сохраняться в неизменности, если бы каждая оказалась отдельно от всех остальных – фотон, электрон, протон, нейтрино.

Одна из самых загадочных частиц - *нейтрино* - была открыта теоретиками в ходе анализе процессов, происходящих при β -распаде ядер, когда наблюдается поток электронов. Парадокс заключался в том, что ядро испускает электрон, которого в ядре нет. Получается, что внутри β -радиоактивных ядер нейтрон способен распадаться на протон (который остается в ядре) и электрон (который вылетает). Странным было и то, что сходные (тождественные) ядра испускали электроны разных энергий, но вновь образующиеся ядра были одинаковы. Энергия исходного ядра оказывалась не равной сумме энергий конечного ядра и электрона. Чтобы разрешить эту ситуацию, нарушающую фундаментальный закон сохранения энергии, швейцарский физик В.Паули предположил, что вместе с протоном и электроном при распаде нейтрона рождается еще одна частица-невидимка, которая уносит с собой часть энергии. Она не регистрируется приборами, так как не имеет заряда и не имеет массы покоя. Значит, она не может ионизировать атомы, расщеплять ядра, т.е. не может вызвать эффекты, позволяющие ее обнаружить. Выходило, что энергия теряется с такой частицей безвозвратно. По предположению Паули, такая гипотетическая

⁷⁶ Е.И.Бутиков, А.С.Кондратьев, В.М.Уздин. Физика: Учебное пособие в 3 кн. Кн.3. Строение и свойства вещества. М., 2000.

частица просто очень слабо взаимодействует с веществом, поэтому может проходить сквозь любое вещество. Эту гипотетическую частицу Энрико Ферми назвал «нейтрино» (нейтрончик). Ее обнаружили спустя 26 лет. Масса покоя нейтрино оказалась равной нулю, он живет только при скорости 300 000 км/с. Поток нейтрино пронизывает земной шар, который для него прозрачен.

Представления о распаде элементарных частиц, которые имеют чрезвычайно малый период жизни, в современной физике парадоксальны. Распад частиц предполагает не разъединение сложного на части, а превращение элементарных частиц, в результате которого возникают частицы, которой в исходной системе не было. Физики второй половины века открыли уже 35 стабильных и относительно стабильных элементарных частиц, время жизни которых имеет порядок 10^{-17} с. Число частиц со временем жизни 10^{-22} - 10^{-23} с уже более двухсот. В соответствии с возрастанием массы покоя в физике выделяют следующие группы элементарных частиц: *фотоны*; *лептоны* – легкие частицы, сюда входит 8 частиц: электрон, μ -мезон (его масса примерно в 207 раз больше массы электрона), два сорта нейтрино (одни рождаются с электронами, другие с μ -мезонами), и их античастицы; *мезоны*, сюда также входят 8 частиц: положительные, отрицательные, нейтральные π -мезоны с массой 264 (нейтральные) и 273 (положительные и отрицательные) электронных масс; эти частицы (*пионы*) – кванты ядерного поля (так же как фотоны – кванты электромагнитного поля); в эту группу входят еще четыре К-мезона с массой 966 и 974 электронной массы и Эта-ноль-мезоны (η^0 -мезоны) с массой в 1074 массы электрона; *барионы* – самая большая группа, включающая 18 частиц из 35 относительно стабильных; самые легкие в этой группе – протоны и нейтроны (1836, 1838 электронной массы), далее идут гипероны (2184-2585 электронной массы); последняя частица – омега-минус-частица - имеет массу, превышающую массу электрона в 3273 раза (открыта в 1964 г.).

Каждая элементарная частица окружена квантами соответствующего поля и зависит от их энергетического влияния. Поведение элементарных частиц, размеры которых очень малы, а скорости велики, описывается законами квантовой механики.

Согласно *Стандартной модели элементарных частиц*, они состоят из шести фундаментальных частиц – кварков. *Гипотеза кварков* была выдвинута в 1964 г. Г. Цвейгом и независимо от него М. Гелл-Маном (США). В конце 60-х гг. был поставлен прямой эксперимент по обнаружению кварков. Схема эксперимента была аналогична эксперименту Резерфорда по обнаружению ядра

атома, но потоками электронов высоких энергий бомбардировались протоны. Эксперимент показал, что взаимодействие протонов с электронами не соответствует представлению о протоне как неделимой частице, размер которой 10^{-13} см. Рассеяние электронов происходило так, как если бы внутри протона существовали независимые друг от друга точечные объекты.

К настоящему времени открыто 6 типов夸克ов и 6 соответствующих им антикварков, которые различаются дробным электрическим зарядом и спином, магнитным и ядерным зарядом и другими характеристиками. Сообщение об открытии шестого типа кварка датируется 1994г. Заряд сильного взаимодействия, в которое может вступать кварк, называется "цветом". Каждый кварк может быть носителем только одного заряда (цвета) сильного взаимодействия: синего, зеленого, красного.. При объединении夸克ов в тяжелые субатомные частицы происходит сложение цвета, как в оптике, получается белый цвет, характерный для протонов и нейтронов. Эта особенность взаимодействия夸克ов определила название новой области исследования элементарных частиц – *хромодинамики*.

В теоретических расчетах была показана неравноценность парной связи夸克ов. В соответствии с этим свойством夸克и подразделяются на три пары (или поколения).夸克и последующего поколения тяжелее夸克ов предыдущего поколения. Время существования микрочастиц, образованных из夸克ов второго и третьего поколения, очень мало, поэтому они быстро превращаются в частицы, образованные из夸克ов первого поколения. Аналогично ведут себя пары легких микрочастиц (лептонов). В частности пара электрон и электронное нейтрино (пара e^- и ν_e) также лежит в основании более устойчивых микрочастиц, поэтому считается первым поколением лептонов. Было установлено, что только микрочастицы, образованные из夸克ов первого поколения и лептонов первого поколения, оказываются стабильными. Согласно новейшим представлениям, в фундаменте вещества Вселенной лежат, строго говоря, только восемь прачастиц: первое поколение夸克ов (пара u и d), первое поколение лептонов (антиэлектрон и антинейтрино) и их античастицы.

3.2 История и методологические принципы квантовой физики

Начало новой физической теории связано с проблемой теплового излучения, сформулированной в конце XIXв. Попытки теоретического анализа этой проблемы на основании представления об абсолютно черном

теле столкнулись с большими трудностями. Несмотря на максимальное поглощение светового излучения, такое тело испускает в пространство непрерывный спектр волн, определяемый температурой тела. Согласно теории электромагнитного излучения, нагретое тело непрерывно теряет энергию и должно охладиться до абсолютного нуля. Термическое равновесие между веществом и излучением невозможно с классической точки зрения из-за противоположности вещества (структуры) и излучения (непрерывного, волнового процесса). Но повседневный опыт показывает, что нагретое тело не расходует всю свою энергию на излучение. Чтобы снять возникшее противоречие между теорией и опытом немецкий физик Макс Планк в 1900г. выдвинул гипотезу о том, что энергия излучения состоит из очень маленьких порций (квантов). Он установил экспериментально, что поглощение и излучение энергии пропорциональными частоте излучения. Коэффициент пропорциональности был им вычислен и называется в современной физике постоянной Планка ($h = 6,62517 \cdot 10^{-27}$ эрг·с).

Планк выдвинул свою гипотезу только для объяснения теплового излучения. Распространение понятия *квант* связано с именем А.Эйнштейна, который в 1905г. опубликовал три знаменитые работы. Две работы были посвящены специальной теории относительности и молекулярному движению, третья – явлению внешнего фотоэлектрического эффекта, которое он убедительно объяснил на основе квантовой гипотезы.

Явление фотоэффекта (вырывание электронов из вещества под воздействием света) было открыто Г.Герцем, и тщательно исследовано русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым (1839-1896).⁷⁷ Объяснить фотоэффект на основе электродинамики Максвелла, согласно которой свет - это электромагнитная волна, непрерывно распределенная в пространстве, - не удавалось. Опыты показали, что кинетическая энергия вырываемых светом электронов зависит только от частоты света и не зависит от интенсивности освещения. Если же частота света меньше определенного порога, то явление фотоэффекта не наблюдается.

Объяснение Эйнштейна состояло в том, что свет имеет дискретную структуру, т.е. состоит из элементарных волновых пакетов, дающий определенный энергетический вклад.⁷⁸ Теория фотоэффекта Эйнштейна

⁷⁷ Александр Григорьевич Столетов много сил отдал развитию физики в России, был инициатором создания Физического института при Московском университете, показал возможность практического применения фотоэффекта. Разработал метод исследования ферромагнетиков, которые впоследствии широко использовались в конструировании электрических машин.

⁷⁸ Наглядную аналогию квантования энергии дает работа механических маятниковых часов с гирей. Груз, приводящий всю систему в действие, опускается не равномерно, а скачкообразно, при этом маятник тоже

утверждала, что энергия каждой порции излучения пропорциональная частоте в соответствии с гипотезой Планка: $E = h\nu$ (где $h = 6,62517 \cdot 10^{-27}$ эрг·с - постоянная Планка).

Из гипотезы Планка о порциях излучения еще не вытекало представление о прерывистой структуре самого света. Дождь, например, выпадает на землю тоже каплями, но отсюда не следует, что вода состоит из неделимых частей – капель. Но явление фотоэффекта показало, что свет излучается порциями, эта порция индивидуальна и сохраняется в дальнейшем распространении света. Поглощается только вся порция целиком. По Эйнштейну, интенсивность света пропорциональна числу квантов (порций) энергии в световом пучке. Объясняя фотоэффект, он ввел понятие работы выхода электрона – определенное количество энергии светового кванта, необходимое для сообщения электрону такой энергии, чтобы он покинул металл. Эйнштейн вводит для обозначения светового кванта понятие *фотон*, подчеркивая, что порция света похожа на частицу. Но фотон не имеет массы покоя, не существует в состоянии покоя, а при самом своем рождении приобретает скорость равную c . Фактически Эйнштейн открыл первую элементарную частицу квантовой природы. Сейчас современная наука насчитывает множество таких частиц.

Следствием теории фотоэффекта стало представление о двойственной природе света. При распространении света проявляются его волновые свойства, а при взаимодействии с веществом (при излучении и поглощении) – корпускулярные. В последствие физики обнаружили такие противоречивые свойства у электрона и других элементарных частиц. Понятие *квант действия* легло в основу новой дискретной модели описания энергетических процессов в мире особых, *квантовых явлений*, скрытых в макромире за размерами тел и их механическими взаимодействиями.

Поведение и свойства микрообъектов, которые невозможно описать классической механикой Ньютона, становится предметом особой области физики – *квантовой механики*, которая сложилась в 20-х гг., благодаря усилиям Луи де Броиля (1892-1987), Макса Борна (1882-1970), Вернера Гейзенберга (1901-1976). В современной системе знания она представляет собой общую теорию движения микрочастиц. К концу века на этой базе развивается разветвленная квантовая теория, которая включает квантовую статистику, квантовую теорию поля, теорию атомного ядра и физику высоких энергий (физику элементарных частиц).

получает энергию порциями. Кванты энергии в излучении света столь малы, что их невозможно наблюдать в механических процессах.

Первоначально в работах Н.Бора, Э.Шредингера, В.Гейзенберга и других ученых первой половины века квантовая механика являлась в основном теорией атомных спектров. Обобщение ее до теории, описывающей поведение всех микрообъектов в микромире, оказалось возможным благодаря синтезу квантовой механики и специальной теории относительности, в результате которой возникла релятивистская квантовая механика.

Развитие квантовых представлений в физике привело к новому взгляду на строение материи во Вселенной: к традиционному веществу макромира добавились такие реальности как физический вакуум, элементарные частицы, квантовые поля. Само понятие квантовое поле, несмотря на свою противоречивость, утверждало единство дискретности и непрерывности материи Вселенной. Открытие античастиц, привело к представлению о кратко живущих виртуальных частицах, которые возникают «из ничего» и уходят «в ничто». С этого момента в физике возникает проблема физической природы вакуума. Считалось, что пустота там, где нет частиц вещества и квантов электромагнитного поля – фотонов. Но физический вакуум оказывается не пустым. В квантовой теории вакуум определяется как низшее энергетическое состояние квантового поля, энергия которого равна нулю только в среднем.

Квантовая теория поля, заложенная в трудах Дирака, Паули, Гейзенберга, развивается в трудах Р.Фейнмана. Во второй половине XXв. квантовая теория поля становится фундаментальным основанием всей современной физики. В ней развивается общий подход ко всем известным типам взаимодействий (гравитационным, электромагнитным, ядерным - слабым и сильным), а также представление о физическом вакууме, насыщенном флуктуациями различных полей. На самом элементарном уровне к первоэлементам Вселенной стали относить физический вакуум, порождающий вещество Вселенной (главным образом протоны, электроны и нейтроны) и антивещество (антипротоны и позитроны). К фундаментальным процессам образования и преобразования материи - взаимное превращение элементарных частиц и процесс аннигиляции (взаимное уничтожение) частиц и античастиц, освобождающий колоссальную энергию в виде излучения.

Фундаментальным в описании взаимодействий микрообъектов неявно становится *принцип целостности*. До XXв. принцип целостности был представлен в естествознании законами сохранения. Значение этого общего принципа для физической теории стало расширяться в связи исследованием физических полей и характеристик элементарных частиц. Были обнаружены эффекты, говорящие о связи определенных состояний микрочастиц с

определенными состояниями физического вакуума. На значение принципа целостности в физическом описании явлений микромира указывал также открытый Эйнштейном в совместной работе с Розеном и Подольским эффект не силовой корреляции фундаментальных (спиновых) характеристик элементарных частиц, который получил название парадокса ЭПР (Эйнштейна – Подольского – Розена).

Одна из проблем квантовой теории связана с физической интерпретацией волновой функции, которая имеет значение основного параметра квантового поля и элементарной частицы. Австрийский физик Эрвин Шредингер, создав основное уравнение квантовой механики, не смог разъяснить физический смысл этой функции. В признанной интерпретации квантовой механики утверждается, что ее законы предсказывают не события, а их вероятности.

Копенгагенская интерпретация квантовой механики, предложенная Максом Борном и Нильсом Бором, провозглашая *принцип дополнительности*, подчеркивала и отказ от классического принципа детерминизма, утверждавшего однозначную причинную связь событий. Соотношение неопределенности Гейзенberга фиксировало границы применимости кинематических и динамических переменных в их классическом выражении к описанию квантовых объектов (микрочастиц). Согласно *принципу неопределенности*, в мире квантовых явлений нельзя пренебречь взаимодействием между измерительным прибором и изучаемым явлением.

Процесс измерения в микромире породил новую физическую и философскую проблему, поскольку вводил сознание наблюдателя в качестве необходимого параметра исследования квантовых явлений, ставил под сомнение и объективность микромира, и объективность физической теории.

В «копенгагенской интерпретации» квантовой механики была предпринята попытка устранения сознания наблюдателя из исследуемой ситуации. Был введен постулат о редукции состояния (коллапсе волновой функции), согласно которому при соприкосновении квантовой системы (микросистемы) с прибором (макросистемой) происходит отбрасывание всех альтернативных исходов, возможных с точки зрения квантовой механики.

Наиболее парадоксальная интерпретация квантовых взаимодействий, получившая название многомировой, была предложена Х.Эвереттом, согласно гипотезе, которого кроме реальной Вселенной существуют множество ее параллельных двойников – теневых миров, где обитают наши «дублеры».⁷⁹

⁷⁹ Менский М.Б. Многомировая интерпретация квантовой механики и проблема сознания // Теоретическая виртуалистика: новые проблемы, подходы и решения / Ин-т философии РАН. – М: Наука, 2008. С.27-54.

Эти двойники никак себя не проявляют за исключением квантового уровня. В случае прохождения электрона сквозь щели, электрон и его двойник взаимодействуют, снимая неопределенность. Именно этот странный мир взаимодействий, где порогом той или иной реальности выступает очень узкое место – щель, и описывает квантовая механика.

4. История развития теоретической биологии

Основная тенденция в развитии биологии XXв. – стремление к классическому теоретическому построению биологических наук, накопивших большой фактический материал наблюдений. Появляется комплекс новых биологических дисциплин, исследующих различные уровни организации живого (клетка и ее составные части – в молекулярной биологии, органы – в сравнительной анатомии, зародыши – в эмбриологии, носители наследственных признаков – в генетике, популяции – в этологии).

XXв. в развитии биологии можно назвать веком генетики (*γενεσις*, genesis – греч. рождение, происхождение) – науки о законах наследственности и изменчивости организмов, которая позволила сформулировать теоретические основания современной эволюционной биологии и положила начало новым практическим дисциплинам в области медицины (медицинская генетика), а также новым биотехнологиям и генной инженерии.

4.1. История становления генетики

Природа наследственности и изменчивости становится главным объектом исследования в биологии начала XX века. Наиболее фундаментальной гипотезой о природе наследственности, послужившей в известной мере образцом для построений других биологов, явилась «временная гипотеза пangenезиса» Ч.Дарвина, изложенная в последней главе его труда «Изменение домашних животных и культурных растений» (1868). Согласно его представлениям, в каждой клетке любого организма образуются в большом числе особые частицы - геммулы, которые обладают способностью распространяться по организму и собираться в клетках, служащих для полового или вегетативного размножения. Дарвин допускал, что геммулы отдельных клеток могут изменяться в ходе онтогенеза каждого индивидуума и давать начало измененным потомкам. Но предположение Дарвина о

наследовании приобретенных признаков было экспериментально опровергнуто Ф. Гальтоном (1871).⁸⁰

Еще одна гипотеза о природе наследственности была предложена ботаником К.Нечели в работе «Механико-физиологическая теория эволюции» (1884). Нечели предположил, что наследственные задатки передаются лишь частью вещества клетки, названного им идиоплазмой. Остальная часть (стереоплазма), согласно его представлению, наследственных признаков не несет. Он предположил, что идиоплазма состоит из молекул, соединенных друг с другом в крупные нитевидные структуры - мицеллы, группирующиеся в пучки и образующие сеть, пронизывающие все клетки организма. Гипотеза Нечели подготовила биологов к мысли о сложной структуре материальных носителей наследственности.

Наука о наследственности и изменчивости живых организмов получила развитие в начале XXв. Название *генетика* было предложено английским ученым У.Бэтсоном в 1906г. За короткий срок была создана теоретическая база генетики, на которой выросла разветвленная сеть биологических дисциплин с широким кругом экспериментальных методов и направлений.

В истории генетики выделяют три этапа: классический (1900-1930гг.), неоклассический (1930-1953гг.), синтетический (по настоящее время). Концептуальную основу генетики составляют: теория гена, хромосомная теория наследственности, теория мутаций, теории современной молекулярной биологии.

Классический этап в развитии генетики начинается с переоткрытия законов Менделя, который еще в 1865г., анализируя потомство, полученное от скрещивания контрастных сортов гороха, сформулировал законы наследственности. Мендель показал, что наследуемые задатки не смешиваются, а передаются от родителей к потомкам в виде обособленных единиц, которые он назвал «элементами». Самое существенное свойство элементарного носителя наследуемого признака – дискретность. Мендель сформулировал принципы независимости комбинирования этих элементарных единиц при скрещивании.

Законы наследственности были открыты повторно в 1900г. одновременно и независимо друг от друга голландским биологом Хugo де Фризом (1848-1935), немецким ботаником К.Э.Корренсом (1864-1933) и австрийским ученым Э.Чернак-Зейзенеггом (1871-1962). Исследователями классического периода развития генетики были выяснены основные закономерности

⁸⁰ Оно С. Генетические механизмы прогрессивной эволюции. М.: Мир, 1973, - с. 82.

наследования и доказано, что наследственные факторы сосредоточены в хромосомах. В первые десятилетия XXв. представление о дискретных наследуемых задатках получило подтверждение на основании громадного числа опытов с растениями, животными, микроорганизмами, а также в наблюдениях за наследственностью человека. Большая заслуга в становлении классического этапа генетики принадлежит английскому ученому У.Бэтсону (1861-1926), показавшему, что законы, сформулированные Менделем, свойственны не только растениям, но и животным. В 1909г. датский ученый Вильгельм Иоганнсен (1857-1927) ввел понятие «ген» для обозначения дискретной единицы, ответственной за наследование определенного признака (задатка). В 1912г. Т.Х.Морган показал, что гены расположены в хромосомах.

Важнейшее свойство генов – сочетание их высокой устойчивости (неизменяемости в ряду поколений) со способностью к наследуемым изменениям, служащим основой изменчивости организмов, дающей материал для естественного отбора. Совокупность всех генов (или задатков) организма - сложно взаимодействующая система, которая получила название *генотип*.

Иоганнсен представил естественный отбор в качестве главного фактора, преобразующего генотип на основе наследственной изменчивости при формирующей роли среды. Складывается учение о фенотипе и генотипе организма. Под фенотипом понимается совокупность всех признаков, которыми обладает организм, под генотипом – генетический состав, которым определяются эти признаки.

Применение этих достижений привело к формированию аналитических методов селекции, в частности выделения генотипических линий популяции растений и животных. Соединение генетики с аналитическими методами селекции заложили основания для развития теоретической биологии.

Хромосомная теория наследственности и теория мутаций. Разворачивание гибридологических исследований в XXв. сыграло важную роль в становлении генетики. Второй предпосылкой ее развития были успехи цитологических исследований в конце XIXв., связанные с повышением оптических качеств микроскопов. В 1875г. Гертивиг обратил внимание, что при оплодотворении яиц морского ежа происходит слияние двух ядер (ядра спермия и ядра яйцеклетки). Флемминг в 1882г. описал поведение особых структур ядра во время митоза (бесполого размножения посредством деления клетки). Для обозначения этих особых, хорошо наблюдаемых структур ядра, играющих определенную роль в делении клетки, В.Вальдейер в 1888г. предложил термин *хромосома*. В начале XXв. Бовери (1902)

продемонстрировал важную роль ядра в регуляции развития наследственных признаков организма.

Идея о неравном наследственном делении ядер клеток развивающегося зародыша была высказана В.Ру в 1883г. В это же время А.Вейсман пришел к выводу о существовании в организме двух четко разграниченных видов клеток - зародышевых и соматических. Первые, обеспечивая непрерывность передачи наследственной информации, «потенциально бессмертны» и способны дать начало новому организму. Вторые такими свойствами не обладают. Выделение двух категорий клеток имело большое значение для последующего развития генетики. Затем Вейсман высказали предположение о линейном расположении наследственных факторов (хромативных зерен - по Ру, ид - по Вейсману) и их продольном расщеплении во время митоза, чем во многом предвосхитили будущую хромосомную теорию наследственности.

В 70-80-х годах XIXв. были описаны митоз и поведение хромосом во время деления клетки. Это привело к утверждению об ответственности этих структур за передачу наследственных потенций от материнской клетки дочерним. Деление материала хромосом на две равные частицы свидетельствовало в пользу гипотезы, что именно в хромосомах сосредоточена генетическая память. Изучение хромосом у животных и растений привело к выводу, что каждый вид животных существует характеризуется строго определенным числом хромосом.

В начале века ученые, исследовавшие живые клетки, обнаружили в них материальные структуры, роль и поведение которых могли быть однозначно связаны с закономерностями, выявленными Менделем. Такую связь усмотрел в 1903г. В.Сэттон. Гипотетические представления о наследственных факторах, о наличии одинарного набора факторов в гаметах (половых клетках), и двойного - в зиготах (оплодотворенных клетках) получили экспериментальное обоснование в исследованиях хромосом. Т.Бовери (1902) представил доказательства в пользу участия хромосом в процессе наследственной передачи, показав, что нормальное развитие морского ежа возможно только при наличии всех хромосом.

Установлением факта, что именно хромосомы несут наследственную информацию, В.Сэттон и Т.Бовери положили начало новому направлению в биологии. Гибридологический анализ и цитологические исследования подтверждали дискретность фактора, несущего наследственный материал. Сложилось представление, что единица наследственности (ген) отвечает за

развитие одного признака и передается при скрещиваниях как неделимое целое.

В формулировании и обосновании хромосомной теории наследственности большая заслуга принадлежит Томасу Ханту Моргану (1866-1945). Согласно хромосомной теории, каждая хромосома несет по одному фактору, каждая пара факторов локализована в паре гомологичных хромосом. Поскольку число признаков у любого организма во много раз больше числа хромосом, видимых в микроскоп, каждая хромосома должна содержать множество факторов.

В начале XXв. Морган сформулировал положение о сцеплении генов в хромосомах. Он экспериментально доказал, что гены, находящиеся в одной хромосоме, передаются при скрещивании совместно. Число групп сцепления соответствует числу пар хромосом.⁸¹

С помощью светового микроскопа в 1934г. были обнаружены гигантские хромосомы, в которых чередовались темные и светлые поперечные полосы. Причем искусственным путем можно было вызвать различные фенотипические аномалии, которые сопровождаются определенными изменениями в рисунке поперечных полос. Наиболее явным примером того, что фенотипические признаки организма связаны со строением хромосом, служит различие между полами. Гены, находящиеся в половых хромосомах, назвали сцепленными с полом. Эта особая форма сцепления позволила объяснить, в частности наследование таких признаков как раннее облысение и гемофилия, которые присущи определенному полу.

Основы теории гена сложились к началу 30-х годов XXв. Обнаруженное Морганом нарушение сцепления генов в результате обмена участками между хромосомами (явление кроссинговера) подтверждало неделимость генов. В результате обобщения всех данных ген стали понимать как элементарную единицу наследственности, которая характеризуется вполне определенной функцией - изменяется во время кроссинговера как целое. Как единица кроссинговера (обмена между участками хромосом) ген выступил в новом качестве единицы наследственной изменчивости.

Под *изменчивостью* в биологии понимают всю совокупность различий по тому или иному признаку между организмами, принадлежащими к одной

⁸¹ Цитологи выяснили, что у человека все соматические клетки содержат по 46 хромосом. Поскольку человек обладает тысячами признаков (цвет глаз, кожи, группа крови, рост, секреция и т.д.), в одной хромосоме должно быть большое число генов. Гены, расположенные в одной и той же хромосоме, называют сцепленными. Все гены одной хромосомы образуют группу сцепления, они обычно попадают в одну гамету и наследуются вместе. В экспериментах по скрещиванию на мухах, однако, обнаруживались и особи с новыми (не родительскими) сочетаниями признаков. Эти новые фенотипы назвали рекомбинантными. В современной литературе явление сцепления определяется так: два или более генов называют сцепленными, если потомки с новыми генными комбинациями встречаются реже, чем родительские фенотипы.

популяции или виду. Морфологическое разнообразие особей в пределах любого вида поразило в свое время Дарвина и Уоллеса, послужила толчком в исследованиях Менделя, показавшего предсказуемый, закономерный характер передачи различий в поколениях. В наблюдаемых фенотипических различиях различают две формы изменчивости: дискретную (или качественную) и непрерывную (или количественную). Различия, которые характеризуют дискретную изменчивость, четко выражены и между ними отсутствуют промежуточные формы. Например, пол у животных и растений, группа крови у человека, длина крыльев у дрозофилы. Признаки, связанные с дискретной изменчивостью, представлены ограниченным числом вариантов и контролируются одним или двумя главными генами, которые могут иметь несколько аллей (генов, расположенных в том же месте хромосомы). Внешние условия мало влияют на такие признаки различия внутри вида. Например, климатические условия и катаклизмы не влияют на группу крови человека.

Количественная (непрерывная) изменчивость определяет наблюдаемые различия признаков в популяции (рост, вес, форма, окраска). Большинство индивидов попадает в среднюю часть статистической кривой, описывающей распределение непрерывной изменчивости в популяции по некоторому признаку (средний рост, средний вес и т.п.). Крайними различиями обладают малое количество особей. Признаки, характерные для непрерывной (количественной) изменчивости обусловлены совместным действием многих генов и факторов среды. Главный фактор, определяющий любой фенотипический признак – генотип, который определяется в момент оплодотворения, но последующая реализация генетического потенциала в значительной мере зависят от внешних условий развития организма. Но среда никогда не может вывести фенотип за пределы, определенные генотипом.

Второй этап в истории развитии генетики (30-50 гг.) связан с молекулярными и биохимическими исследованиями механизма наследственной изменчивости. Решающим событием в этот период было открытие *мутаций* – внезапно возникающих изменений, которые могут передаваться по наследству. Систематическому изучению мутаций положили начало работы голландского ученого Хуго де Фриза, который предложил термин «мутация» в 1901г. Спустя 9 лет Т.Морган начал изучать мутации у дрозофилы, и вскоре у нее было зафиксировано более 500 мутаций. Значительную роль в развитии генетики сыграли работы наших ученых: Н.И.Вавилова (1887-1943), Н.К.Кольцова (1872-1940), С.С.Четверикова (1880-1959), А.С.Серебровского (1892-1948) и др.

Крупнейшим достижением было обнаружение возможности искусственно вызывать мутации при помощи разнообразных физических и химических агентов. В 1925 г. Георгий Адамович Надсон (1867-1940) вместе с учениками установил воздействие радиоизлучения на наследственную изменчивость грибов. Американский генетик Герман Джозеф Меллер (1890-1967) обнаружил в опытах с дрозофилами сильное мутагенное действие рентгеновских лучей (1927). В дальнейшем было установлено, что любое ионизированное облучение вызывает мутации.

В генетике появилось учение о системе репарирующих ферментов, исправляющих повреждения генетических структур, вызванные облучением или обработкой химическими агентами.⁸² Затем была обнаружена возможность - искусственно вызывать мутации при помощи разнообразных физических и химических агентов. За открытие искусственного мутагенеза Г.Меллеру была присуждена в 1946 г. Нобелевская премия.⁸³

В середине 30-х годов была сформулирована теория, описывающая кинетические зависимости активирующего и мутагенного эффекта ионизирующих излучений («теория мишени»). Важнейшие эксперименты, ставшие основой этой теории, были проведены в период 1931-1937 гг. Н.В.Тимофеевым-Ресовским, М.Дельбрюком, Р.Цимером и другими исследователями. Оформилось новое направление молекулярной генетики – химический мутагенез.⁸⁴

Большой материал, накопившийся в области изучения изменчивости, позволил создать классификацию типов мутаций. Было установлено существование трех видов мутаций - генных, хромосомных и геномных. К первому классу относятся изменения, затрагивающие лишь один ген. В этом случае либо полностью нарушается работа гена и, организм теряет одну функцию, либо изменяется его функция. Хромосомные мутации - изменение в структуре хромосом, которые могут иметь разные следствия. Может произойти удвоение, утрение отдельных участков хромосомы (дупликация), в другом случае оторвавшийся кусок хромосомы может остаться в той же хромосоме, но окажется в перевернутом виде, при этом порядок расположения генов в хромосоме изменяется (инверсия). Если утрачивается участок

⁸² Ранее всего была изучена фотопротекция - восстановление нормальной жизнедеятельности клеток (возобновление синтеза отдельных ферментов, способности к делению и размножению), впервые описанная А. Кельнером и В.Ф. Ковалевым (1949).

⁸³ Г. А. Надсон и Г. С. Филиппов (1925) получили мутации у дрожжей под действием радия и рентгеновских лучей; при помощи рентгеновских лучей у дрозофилы, Л. Стадлер (1928) посредством воздействия рентгеновских лучей получил мутации у кукурузы.

⁸⁴ Ратнер В.А. Математическая популяционная генетика. Новосибирск: Наука, 1976. с. 128.

хромосомы, говорят о делеции, или нехватке. Все типы хромосомных перестроек объединяют под общим термином - хромосомные аберрации. В геномных мутациях изменяется число хромосом.

В настоящее время известно большое количество веществ, усиливающих мутационный процесс. Разработана теория действия мутагенных соединений на наследственные структуры, интенсивно разрабатываются проблемы специфичности действия мутагенов.

В неоклассический период развития генетики возникает *проблема структуры гена*. В 1928г. Н.П.Дубинин (в лаборатории А.С.Серебровского при Биологическом институте им.К.А.Тимирязева) обнаружил необычную мутацию, свидетельствующую о том, что ген не является неделимой структурой, а представляет собой область хромосомы, отдельные участки которой могут муттировать независимо друг от друга. Экспериментально подтвердить мутационную дробимость гена Серебровский и сотрудники его лаборатории долгое время не могли. Организовать такой эксперимент удалось только в 1938г. Окончательное решение этот вопрос получил спустя десятилетие в работах М.Грина (1949), Э.Льюиса (1951) и Г.Понтекорво (1952), убедительно показавших, что считать ген неделимым неправильно. Далее требовалось разработать новую теорию гена, определив конкретные физические структуры, ответственные за реализацию различных генетических функций. Эта программа потребовала перехода к генетическим исследованиям на микроорганизмах, т.е. к новому уровню исследований.

Современный период в развитии генетики начинается в 50-х гг. с появлением молекулярной биологии. В 40-х гг. господствует представление, что гены – особый тип белковых молекул. В 1944г., однако, было показано, что генетические функции в клетке выполняет не белок, а особые макромолекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Установление роли нукleinовых кислот в передаче наследственных признаков положило начало новой области – молекулярной биологии. Термин «молекулярная биология» ввел У.Астбери, которому принадлежат основополагающие работы в исследовании белков.

В 1953г. Ф.Крик (Англия) и Д.Уотсон (США) выявили пространственную структуру ДНК и создали ее модель в виде двойной спирали, элементы которой повторяются в строгой последовательности. За сравнительно короткий срок развития молекулярной биологии были установлены природа гена и основные принципы его организации, воспроизведения и функционирования, расшифрован генетический код, выявлены и исследованы

механизмы и главные пути образования белка в клетке, в которой фундаментальную роль играет пространственно ориентированная полипептидная цепь. Молекулярная биология установила принципы организации разных субклеточных частиц, вирусов, установлены путь их биогенеза в клетке. На базе молекулярной биологии в 70-х гг. развивается методы генной инженерии (внедрение в клетку желаемой информации), а также методы выделения в чистом виде фрагментов ДНК. В 80-х гг. процесс выделения генов и получения из них различных цепей автоматизируется. Генная инженерия в сочетании с микроэлектроникой открывает новые перспективы исследования и управления законами живой материи. В прессе активно обсуждаются возможности рождения ребенка «из пробирки». Большой общественный резонанс получили опыты по клонированию. Первый опыт с овечкой Долли был проведен в 1997 г.

Одно из наиболее существенных достижений молекулярной генетики заключается в установлении минимальных размеров участка гена, передающихся при кроссинговере (в молекулярной генетике вместо термина «кроссинговер» принят термин «рекомбинация»), подвергающихся мутации и осуществляющих одну функцию. Оценки этих величин были получены в 50-е годы С.Бензером. Среди различных внутригенных мутаций Бензер выделил два класса: точечные мутации (мутации минимальной протяженности) и делеции (мутации, занимающие достаточно широкую область гена). Установив факт существования точечных мутаций, Бензер задался целью определить минимальную длину участка ДНК, передаваемую при рекомбинации. Оказалось, что эта величина составляет не более нескольких нуклеотидов. Бензер назвал эту величину реконом. Далее он установил минимальную длину участка, изменения которого достаточно для возникновения мутации, назвав его мутоном. По мнению Бензера, эта величина равна нескольким нуклеотидам. В дальнейшем было выявлено, что длина одного мутона не превышает размер одного нуклеотида.⁸⁵

Следующим важным шагом в изучении генетического материала было подразделение всех генов на два типа: регуляторные гены, дающие информацию о строении регуляторных белков и структурные гены, кодирующие строение остальных полипептидных цепей. Экспериментальное доказательство этой идеи было разработано Ф.Жакобом и Ж.Моно (1961).

Выяснение основной функции гена как хранителя информации о строении определенной полипептидной цепи поставило перед молекулярной

⁸⁵ Кимура М. Молекулярная эволюция: теория нейтральности. М.: Мир, 1985, - с. 203.

генетикой вопрос: каким образом осуществляется перенос информации от генетических структур (ДНК) к морфологическим структурам, другими словами, каким образом записана генетическая информация и как она реализуется в клетке.

Согласно модели Уотсона - Крика, генетическую информацию в ДНК несет последовательность расположения оснований. Таким образом, в ДНК заключены четыре элемента генетической информации. В тоже время в белках было обнаружено 20 основных аминокислот. Необходимо было выяснить, как язык четырехбуквенной записи в ДНК может быть переведен на язык двадцати буквенной записи в белках. Решающий вклад в разработку этого механизма внес Г.Гамовым. Он предположил, что для кодирования одной аминокислоты используется сочетание из трех нуклеотидов ДНК.⁸⁶ Эта элементарная единица наследственного материала, кодирующая одну аминокислоту, получила название кодона.

Предположение Гамова о трехнуклеотидном составе кодона долгое время не удавалось доказать экспериментально. Только в конце 1961г., когда многим стало казаться, что этот вопрос не будут решен, была опубликована работа кембриджской группы исследователей во главе с Ф.Криком, выяснивших тип кода и установивших его общую природу. Они доказали, что в каждом гене есть строго фиксированная начальная точка, с которой фермент, синтезирующий РНК, начинает «прочтение» гена, причем читает его в одном направлении и непрерывно. Авторы так же доказали, что размер кодона действительно равен трем нуклеотидам и что наследственная информация, записанная в ДНК, читается от начальной точки гена «без запятых и промежутков».

4.2 Методологические проблемы эволюционной теории

Теория эволюции Ч.Дарвина, которая и в конце века далеко не всеми учеными принимается в связи с неясностью механизмов наследственности и изменчивости, стала основой дисциплинарных концепций в описании биологических форм и процессов. В течение всего века продолжается поиск более глубокого обоснования дарвинизма. Представление об эволюции как видообразовании и фундаментальное понятие дарвинизма «естественный отбор» подвергаются содержательному наполнению, находят фактическое

⁸⁶ Нуклеотидом называют соединение, образующее элементарный мономер ДНК и состоящее из сахара {дизоксирибозы}, фосфата, азотистого основания.

подтверждение в области палеонтологии, селекции, сравнительной анатомии и эмбриологии. Однако механизм естественного отбора, как и механизм наследственной изменчивости составляют проблему и в начале XXIв.

Источники новых данных в пользу эволюционной теории появились с разработкой точных методов биохимического анализа. Эволюционная концепция, предложенная Ч.Дарвином и Уоллесом, в соединении с молекулярной биологией, раскрывающей механизмы жизненных процессов в клетках и организмах, а также с генетикой, выявившей материальные структуры, обеспечивающие передачу и изменение наследственных признаков, получила название «неодарвинизма», или *синтетической теории эволюции*.

В начале века эволюционисты враждебно отнеслись к законам Менделя и сложившейся на этой концептуальной базе генетике. В дарвинизме основная эволюционная проблема связана с принципами видообразования, вопросами изменчивости, борьбы за существование, естественным отбором. При этом взгляды на наследственность весьма расплывчаты. На тот момент доказать факт возникновения новых генов в природе было невозможно. Опыт селекции и гибридизации подводил к выводу, что наблюдаемые наследственные изменения – результат искусственного вмешательства (одомашнивание или лабораторный эксперимент по выращиванию). Порочный круг, в который попадала генетика, был связан с тем, что для доказательства факта природного наследственного изменения необходимо провести генетический анализ в двух поколениях, т.е. создать искусственные условия. Поэтому в первой четверти века утвердилось представление, что большинство возникающих природных изменений является «уродством», которое не влияет на эволюционный процесс. Мутации (геновариации) только портят сложный, совершенный механизм адаптации. В жестокой борьбе за существование среди нормальных особей «уродцы» должны гибнуть очень быстро, не оставляя потомства. Эволюционный процесс превращения видов организмов в другие виды не мог идти геновариационным путем, поскольку при всех геновариациях (мутациях) муха остается мухой, а крыса остается крысой, не давая уклонения в сторону собаки.

Главное расхождение эволюционизма и генетики просматривалось уже на уровне понятия гена, и трактовки роли естественного отбора в поступательном эволюционном процессе. В дарвинизме естественный отбор – главный движущий фактор эволюции биологического вида. В генетике сформировалась противоположная точка зрения. В.Л.Иоганнсен и

Т.Х.Морган, включая его учеников, исходили из представления о неизменяемости генов и поддерживали точку зрения о пассивной роли отбора в эволюции, полагая, что он выступает средством, лишь устраниющим менее пригодные гены. Сами гены не изменяются и не зависят от внешних условий, что подтверждалось опытами Иоганнсена (1913) и рядом аналогичных опытов, которые показали невозможность изменения признака путем отбора в генетически однородной среде.

Точку зрения на активную роль отбора, который сам создает материал для последующих приложений, защищала небольшая группа генетиков во главе с Кэстлом (1912г.). Однако Морган, не подозревая о том, сам создал почву для иной точки зрения в учении о множественном (плейотропном) действии генов. Согласно этому учению, каждый ген может воздействовать не только на соответствующий специфический признак, но и на ряд других и вообще на всю сумму. Сами гены качественно независимы друг от друга, но их проявления (признаки) являются уже сложным результатом многообразного взаимодействия всех генов, входящих в генотип. Такое представление меняло сложившуюся на базе генетики традиционную мозаичную картину строения организма (из отдельных независимых признаков). Каждый ген контролирует определенный признак, но индивидуальное выражение этого признака зависит от всего генотипа. Наследственная структура каждой клетки определяется комплексом генов. Проявление признаков получало вероятностное, статистическое толкование.

В 1904г. К.Пирсон обосновал так называемый закон стабилизирующего скрещивания, согласно которому в условиях свободного скрещивания при любом исходном соотношении численности гомозиготных и гетерозиготных родительских форм в результате первого же скрещивания внутри сообщества устанавливается состояние равновесия. Частота появления доминантных (P) и рецессивных (q) признаков в сумме равна единице: $P+q=1$.

Английский математик Г.Харди в 1908г. пришел к выводу, что при определенных условиях: 1) в неограниченно больших популяциях при наличии свободного скрещивания, 2) при отсутствии появления новых мутаций и 3) действия внешних факторов, а также 4) миграции, которая сопровождается обменом генами с другими популяциями, - относительная численность гомозиготных (как доминантных, так и рецессивных) и гетерозиготных особей будет сохраняться постоянной. Закон, установленный Харди, в современной биологии носит название «закона Харди-Вайнберга» для частот аллелей генов в популяциях, имеет форму квадратичной

зависимости между частотами появления доминантных признаков (P) и рецессивных (q): $(P+q)^2 = P^2 + 2Pq + q^2$.

Эти закономерности длительное время не были признаны биологами-эволюционистами. Лишь в 1926г. С.С.Четвериковым была опубликована большая работа, привлекшая внимание к общебиологическому значению выкладок Пирсона и Харди. Четвериков подробно рассмотрел биологогенетические основы эволюции и заложил основы новой научной дисциплины - *популяционной генетики*.

Изучая генетический состав природных популяций плодовой мушки (дрозофилы), Сергей Сергеевич Четвериков (1880-1959) показал, что даже фенотипически однородная популяция неоднородна на уровне генетических признаков. Этот факт послужил основой для новой оценки роли генетических представлений в построении общей теории эволюции, в частности в уточнении механизма естественного отбора. В 1926г. он опубликовал статью «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения генетики», в которой изложил главные теоретические положения популяционной генетики. Поставив перед собой задачу - соединить эволюционизм с аппаратом генетики, С.С.Четвериков выделил три линии возможной конструктивной взаимосвязи через: 1) анализ возникновения мутаций (геновариаций) в природе, 2) анализ влияния свободного скрещивания (согласно менделевским законам) на генотип и изменчивость, 3) соотнесение этих факторов в жизни популяции с эволюционной ролью естественного отбора.

Прежде всего, Четвериков показал независимость появления геновариаций от искусственной обстановки исследования, ссылаясь на то, что до сих пор человек не может влиять на частоту появления геновариаций, тем более вызывать желаемые. Даже применение таких сильных воздействий, как ионизирующее или рентгеновское облучение, алкоголь, эфир, ненормальное давление, гибридизация не приводили пока к желаемым результатам.

Четвериков ввел понятие *геновариационной изменчивости* (позже - мутационной изменчивости) в дополнение к *генотипической изменчивости*, под которой подразумевалось разнообразие признаков и амплитуда их отклонения. Этот вид изменчивости относится с представлением о качественной изменчивости (прерывистой): расходящиеся признаки всегда меняются скачкообразно, не смешиваются (например, пол, цвет кожи). Генотипическая (наследственная) изменчивость связана с возникновением новых признаков и происходит на основе мутаций, которые могут быть соматическими (закрепляющими признак только при бесполом размножении –

митозе) и генеративными (закрепляющими мутации клеток зародышевого пути при половом размножении - мейозе).

Любая мутация вызывает целый спектр изменений. На мутационный процесс влияет весь набор генов, содержащихся в генотипе, поэтому мутационная (геновариационная) изменчивость носит всегда внутривидовой характер: муха всегда остается мухой. Мутации в большей или меньшей степени снижают адаптивные возможности организма, часто оказываются летальными. Однако мутации не влияют на численность их несущих особей, поэтому не исчезают, а передаются по наследству и таким образом накапливаются за счет мутирования других генов. Мутация конкретного гена – событие редкое, в среднем один на миллион, но в генотипе не менее 10^6 – 10^7 генов, а число особей в популяции от десятков до миллиардов.

Явление накапливания мутаций было названо Четвериковым *геновариационной изменчивостью*. Возникающие мутации, как правило, рецессивны, т.е. не являются доминантным (часто встречающимся) признаком. Свободное скрещивание поглощает геновариации. Каждая, вновь возникающая рецессивная геновариация, при скрещивании с нормальной формой как бы растворяется в последней и не обнаруживается в морфологии организма. Подметить ее в естественных природных условиях можно только в самый момент зарождения, пока она не уничтожена естественным отбором.

В природе происходят два противоположных процесса: накапливание геновариаций и их устранение. Эти процессы лежат в основании различия геновариационной и генотипической изменчивости. Видовое сообщество постоянно, подобно губке, впитывает все новые и новые геновариации, оставаясь внешне однотипным. По мере накопления внутри вида большого числа скрытых геновариаций, та или другая начинает обнаруживаться, тогда и внешне вид начинает проявлять все большую и большую генотипическую изменчивость. Чем старее вид, тем он больше внешне изменчив. При равенстве прочих условий *генотипическая изменчивость растет пропорционально возрасту вида*.

Геновариационная изменчивость, согласно Четверикову, - основной путь медленной эволюции органического мира, когда происходит постепенное накопление отдельных геновариаций. Резкие и глубокие изменения организм возможны только путем длительного накопления геновариационных изменений, продолжительного напластования одних отклонений на другие.

Развивая учение Моргана о множественном действии генов, Четвериков ввел понятие «генотипической среды».

Основные положения популяционной генетики.

1. Каждый ген действует не изолировано, он проявляет себя внутри генотипа и в связи с ним. Каждый признак в своем выражении зависит от строения всего генотипа, является реакцией на определенные внутренние взаимодействия.

2. Генетическая структура вида состоит из громадного числа более или менее отличных другу от друга генотипов. Один и тот же ген в различных генотипических комбинациях попадает в различную «генотипическую среду», следовательно, каждый раз его внешнее проявление будет наследственно видоизменяться, его проявление будет наследственно колебаться, наследственно «флуктуировать».

3. Значение генотипической среды – наследственные колебания признаков. В комбинации с одним генотипом данный признак, обусловленный одним геном, будет выражен сильнее, в комбинации с другим – слабее. Учение о генотипической среде объясняет непонятное различие между качественной и количественной изменчивостью, а также открывает новые возможности в понимании эволюционной роли и механизма естественного отбора.

4. Активная роль естественного отбора раскрывается посредством создания благоприятной генотипической среды. Действие естественного отбора простирается на весь комплекс генов, на всю генетическую среду, в обстановке которой данный ген себя по-разному проявляет. Отбирая один признак, один ген, в процессе естественного отбора косвенно определяется наиболее благоприятная для проявлений данного признака генотипическая среда. Устранив, таким, косвенным образом, неблагоприятные комбинации генов, отбор способствует образованию благоприятной генотипической среды и ведет к усилению признака.

5. Генетический анализ эволюционного процесса опирается на принцип множественного (плейотропного) действия генов. В основании закономерного процесса эволюции лежит случайное появление геномутаций, поэтому эволюционные закономерности имеют вероятностный характер и могут быть описаны статистически на основании законов больших чисел.

Теоретическая разработка понятия естественного отбора и его форм в эволюции органического мира связана с именем российского ученого Ивана Ивановича Шмальгаузена (1884-1963) – одного из наиболее авторитетных эволюционистов XXв. Исследуя проблему целостности организма в индивидуальном и историческом развитии, Шмальгаузен рассмотрел

закономерности индивидуального и эволюционного пути не изолировано. Интеграция этих закономерностей была им раскрыта посредством анализа формообразования в индивидуальном развитии и эволюционных преобразований как изменений авторегулируемых систем. Применение принципов кибернетики в объяснении эволюционных процессов (1967) положило начало новой междисциплинарной области - биокибернетике.

В истории биологии И.И.Шмальгаузен известен как автор *концепции стабилизирующего отбора*. Он исходил из того, что естественный отбор меняет свои формы и направление в зависимости от условий и форм борьбы за существование. Рассматривая динамику исторической изменяемости популяций, он выделил три основные формы естественного отбора: 1) положительный (ведущий) отбор в направлении нарастания, усложнения признака; 2) отрицательный (ведущий) отбор в направлении упрощения или уменьшения признака; 3) нейтральный (стабилизирующий) отбор, поддерживающий установившуюся нормальную величину и строение признака. В результате происходит стабилизация формообразования, которая выражается в развитии регуляторных механизмов, обеспечивающих независимость индивидуального развития организма (онтогенеза).

Стабилизирующая форма отбора ведет к повышению устойчивости существующей или устанавливающейся нормы (через устранение случайных отклонений) формообразования. В результате возникает регуляторный аппарат, защищающий нормальное формообразование от возможных нарушений со стороны случайных уклонений в факторах внешней среды, а также со стороны небольших уклонений во внутренних факторах.

Эволюционная роль стабилизирующей формы отбора – охрана нормы. В процессе эволюции наиболее существенные адаптивные нормы в известной мере стабилизируются благодаря развитию регуляторных механизмов, защищающих эти приспособительные реакции от возможных нарушений со стороны случайных внешних влияний. Эволюция организмов, живущих в меняющихся условиях, не ограничивается выработкой одной нормы. Преимущества в борьбе за существование будут на стороне некоторой средней нормы в типичных условиях. Но в других реальных условиях преимущества будут на стороне тех или иных уклонений от этой главной нормы. Например, у растений-амфибий вырабатываются две-три адаптивные нормы для жизни в воде, на болоте, на суше. Они имеют целостный характер и осуществляются при промежуточном внутреннем авторегуляторном механизме развития. Механизм стабилизирующего отбора - популяция сохраняет свой нормальный

фенотип, несмотря на непрерывное мутирование, сопровождающееся накоплением мутаций и, следовательно, непрерывной перестройкой генотипа.

Во второй половине века развиваются два подхода к исследованию живой природы: *генетический* и *эпигенетический*. Первый характерен для синтетической теории эволюции неодарвинизма, согласно которой под действием естественного отбора происходит процесс изменения частот генов в генофонде популяции. На уровне генотипов особей накапливаются полезные наследственные склонности, определяющие фенотипические признаки и адаптивные возможности. В неодарвинизме развивается классическая популяционно-генетическая модель биологической эволюции, в которой видообразующую роль играет мутация в структурных генах. Положение: приобретенные признаки не наследуются, - составляет базовую аксиому генетического подхода. Однако в классическую схему не укладывается факт независимости морфологической эволюции (макроэволюции) от эволюции структурных генов (микроэволюции), выявленный современными исследованиями.

Эпигенетический подход к биологической эволюции выделяет роль негенетических информационных потоков в жизни организма и вида. Микроэволюционный процесс обуславливает постепенное изменение и выживание наиболее приспособленных вследствие преимущества в данных условиях. Макроэволюционный процесс связан с изменениями системными, возникающими, например, в результате комбинирования комплексов свойств. Наличие гетерогенной (генетической и эпигенетической) информации отмечается исследователями в области генетики, экологии, эмбриологии. Несовпадение информационных потоков обусловлено связью между структурными генами и регуляцией их количества и продукта, то есть процессом самоорганизации, в котором возникает дополнительная информация, незакодированная в геноме и не поступившая из окружающей среды, а обязанная своим происхождением пространственной организации в процессе морфогенеза. Динамической единицей памяти (в отличие от генетической единицы) выступает «эпиген». Благодаря наличию и несовпадению разнорядковой информации, на популяционном уровне фенотипическая однородность противопоставляется генотипической неоднородности.⁸⁷

⁸⁷ Северцов А.С., Креславский А.Г., Черданцев В.Г. Три механизма эволюции // Современные проблемы теории эволюции. М. 1993. С.17-42; Шишкин М.А. Эволюция как эпигенетический процесс // Современная палеонтология. М. 1988. Т.2. С.142-169.

Генетический подход и эпигенетический имеют разные сферы приложения в вопросе об отборе и эволюции. Первый представляет наиболее общую стратегию исследования, согласно которой материалом эволюции служит неопределенная изменчивость, включающая как генетически обусловленные нормы реакции фенотипов, так и вариации фенотипа, обусловленные различием условий жизни. При этом расширение нормы реакции сначала выражается в возникновении спектра возможных состояний фенотипа. Второй обращен к закономерности развития (вида и особи), которая определяется целым. В контексте этого подхода развивается идея эпигенетической эволюции. Основанием служит факт автономности индивидуального развития (онтогенеза) от генотипа, выделенный в исследованиях И.И.Шмальгаузена. В эволюции фенотипа, как такового, видообразующее значение приобретает *феномен преадаптации*, в котором критерий выживаемости вида определен широтой нормы реакции. Эволюционное развитие связано с изменением нормы реакции (биохимической, инстинктивно-физиологической), несущей главную эпигенетическую информацию.⁸⁸

В учении о макроэволюции развивается представление о выживаемости вида, которая зависит от формирования потенциальной нормы, определяющей некий коридор индивидуальных возможностей самоорганизации в конкретных условиях жизни. Этот нормативный коридор обеспечивает различие индивидуальных норм реакции на условия. Благодаря ему, вид способен переносить катастрофические условия, ставящие на грань вымирания среднестатистическую массу особей. При этом в благоприятной среде, когда действует стабилизирующий отбор, особи с более широкой нормой реакции выглядят ненужным излишеством природы и подавляются, не имея преимущества.

В конце века на основе принципа системности формулируется недарвиновская концепция адаптивной эволюции, согласно которой формообразующим фактором выступают длительные модификации, возникающие в органических формах под стрессовым давлением среды с последующим закреплением на генетическом уровне за 5-7 и более поколений. В механизме наследования таких модификаций определенную роль играют ретровирусы и мобильные генетические элементы, участвующие в переносе генетической и эпигенетической информации.

⁸⁸ Назаров В.И. Учение о макроэволюции. На путях к новому синтезу. М. 1991.

Традиционный для дарвинизма подход связан с выяснением происхождения видов на основе субвидовых подразделений (популяций) по принципу «снизу вверх» - от событий, происходящих с особью или вообще с элементами, к их совокупности. Опыт биологических исследований в XXв. привел к убеждению, что понять целое можно только через знание существенных для целого свойств его частей.⁸⁹ Объяснительные возможности новых теорий в биологии должны быть связаны с историей происхождения специфических качеств и функций высших организмов. В контексте макроэволюции исходную базу такого исторического исследования составляет фактический материал взаимодействий в геосферно-биосферной системе. Выживаемость вида определена возможностью потенциального приспособления, которое получило название *преадаптации*.

Если адаптация – это способность к саморегуляции в соответствии с наличными условиями, которая обычно выражается в увеличении численности вида, то *преадаптация* предполагает не просто умножение числа особей в соответствии со средой существования, а способность переносить катастрофические условия, которые могут оказаться длительными. В привычных условиях принцип «минимакса» действует как стабилизирующий отбор (на основе конкуренции), оставляя случайным образом минимум особей, потенциально способных к преадаптации. В катастрофических условиях именно этот минимум спасает вид от вымирания. При этом функциональные (и морфологические) изменения, поддерживающие способность к преадаптации (существованию на грани вымирания) противоречат актуальной приспособленности в рамках механизма конкуренции, поскольку предполагают расходование энергии на «ненужные» вещи. Отрицание узкой утилитарности, формирование «излишков» (или запасов?) в структурно-функциональном плане выступает системной макроэволюционной закономерностью, которая не имеет явного выражения в актуальной прагматической жизни вида, где преобладает борьба, оставляя жизнь сильнейшим и наиболее приспособленным.

⁸⁹ Заварзин Г.А. Недарвиновская область эволюции // Вестник РАН. М. 2000. Т.70. №5.С.403-411.

5. Междисциплинарная методология науки XX-XXI вв.

1. Формирование общенаучного понятийного аппарата: роль кибернетики в истории современной науки

Становление междисциплинарной области естествознания связано с появлением наук о сложных системах, предметом которых стали процессы управления и организации, рассматриваемые в абстракции от физической природы самих систем. На этой почве оформился новый общенаучный понятийный аппарат естествознания.

Историческую роль в этом движении концептуальной интеграции наук сыграла *кибернетика*, методологическим следствием которой стали междисциплинарные познавательные стратегии в виде системного, функционального, информационного подходов, и новые дисциплины, такие как информатика, системный анализ, искусственный интеллект, когнитивистика.

Термин «кибернетика» (*κυβερνητική* – греч. «искусство управления») впервые употребил французский физик Анри Ампер в 1834г., обозначив им особое искусство управления обществом. В 50-е гг. ХХв. кибернетика оформляется как особая наука об управлении, связи и переработке информации. Начало этому положили исследования и обобщения американского ученого Норbertа Винера (1894-1964), который разрабатывал технику управления полетом самонаводящихся автоматических систем. Книга Н.Винера «Кибернетика или управление в животном и машин», вышедшая в 1948г., став бестселлером, определила новый стиль технического и научного мышления второй половины века не только в естествознании, но и в широкой междисциплинарной области научных исследований, в том числе в социогуманитарной.

Разработка теоретических оснований кибернетики связана с именем математика и логика Джона фон Неймана (1903-1957), принявшего непосредственное участие в создании первых цифровых вычислительных машин (1943). В работе «Общая и логическая теория автоматов» он сформулировал основные принципы строения управляющих систем.⁹⁰

⁹⁰ Русский перевод был опубликован в книге А.Тьюринга «Может ли машина мыслить?» - М., 1960. Став профессором Принстонского университета в 1930г., Джон фон Нейман жил в США. В 1951-53гг. был президентом Американского математического общества. Работал в различных областях математики, имел подготовку инженера-химика. В истории науки Дж.фон Нейман известен как один из создателей теории игр, математической экономики, кибернетики. Книга Дж. фон Неймана и О.Моргенштерна «Теория игр и оптимальное поведение» (1944) оказала большое влияние на становление электронно-вычислительной техники. Идея Дж. фон Неймана о вероятностном подходе в теории создания надежных автоматов из

Самое общее определение представляет кибернетику как науку о закономерностях процессов управления и передачи информации в технических, биологических, социальных системах. Особый общенациональный, статус кибернетики как новой области естествознания определялся ее задачами в изучении природы: 1) установлением фактов, общих для любых систем и их совокупностей; 2) выявлением общих законов поведения систем; 3) выявлением ограничений, свойственных управляемым системам; 4) практическим использованием установленных закономерностей в технических устройствах - автоматах.

Основной объект кибернетики - *абстрактные системы*, которые в принципе могут иметь любое материальное (и не только материальное) основание, ту или иную структуру. Примеры кибернетических систем: автоматические регуляторы в технике, ЭВМ, человеческий мозг, биологические популяции, человеческое общество. Каждая из перечисленных систем представляет собой множество взаимосвязанных элементов, способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею.

Исследование целенаправленного поведения живых систем и технических автоматов в кибернетике привело к более широкому пониманию действия как поведения, которое отличалось от установившегося понимания действия в классической физике. Поведение любого объекта, благодаря Н. Винеру, стали трактовать через действие, направленное на достижение конечного состояния, при котором объект вступает в определенную связь в пространстве и времени с другими объектами или событиями.⁹¹

В кибернетике, строго говоря, рассматривается некоторое единство взаимосвязанных систем, в котором выделяется управляющая и управляемая системы. При этом состояние каждой из них характеризуется неопределенностью, а поведение имеет вероятностный характер, поскольку связано с выбором в поле возможностей. К необходимым элементам, обеспечивающим поле выбора действий в кибернетике относят: каналы сбора информации, каналы воздействия, цель управления, способ или алгоритм, позволяющий достичь цели, располагая информацией о состоянии системы и среды ее обитания.

Специфика кибернетики как дисциплины в системе естествознания связана с обнаружением фундаментального характера наблюдаемого в

ненадежных компонентов, высказанная в середине века, оказалась конструктивной для становления теории самоорганизации.

⁹¹ Винер Н. Кибернетика. М. 1968. С. 288

природе, социуме и технике *процесса управления*. В общем случае (для систем любой природы) под *управлением* понимается избирательное воздействие на объект в соответствии с имеющейся информацией, направленное на организацию и улучшение функционирования данного объекта.

Концептуальную базу кибернетики составили: теория информации, теория алгоритмов, теория игр и автоматов. Сама кибернетика выступает теоретической базой автоматизации информационной и интеллектуальной деятельности. Наиболее яркое следствие этой установки - интеллектуальная технология и теория искусственного интеллекта.

Основные понятия кибернетики: управление, система, информация, обратная связь, функциональный подход, системный анализ, - имеют общенациональный статус в системе современной науки.

Пол системой понимается единство взаимосвязанных элементов или структур, которое отличается от простой совокупности (суммы частей, множества) наличием внутренних и внешних связей. Система обладает особыми свойствами, которые характеризуют ее как целое, определяют динамику всей системы и ее развития.

Системные свойства нельзя отнести к элементам, составляющим систему. Такие свойства называют эмерджентными⁹² (возникающими сами собой, как бы ниоткуда). Для них невозможно указать конкретное субстратное основание. Например, человек испытывает страх, но отнести это ощущение к определенному органу тела невозможно. В человеческом организме есть пять органов чувств, но нет органа страха. То же можно сказать об инстинктах, эмоциях, образах и мыслях.

В кибернетике принципиально различаются простые и сложные системы.

Простые системы состоят из относительно небольшого числа элементов, взаимные отношения между которыми поддаются анализу и математическому расчету. Строение простых систем мало изменяется во времени. Поэтому, можно сказать, что они не обладают внутренней динамикой. Поведение простых систем строится по принципу однозначной причинно-следственной связи, имеет линейный характер, поэтому точно прогнозируется. Система может иметь и большое число элементов, но быть простой, если все взаимодействия унифицированы, и ее поведение можно достаточно просто описать математически. К простым системам можно отнести объекты, рассматриваемые в физике или астрономии. Например, можно предсказать

⁹² Эмерджентность (от лат. emerge – появляюсь, возникаю) – несводимость свойств системы в целом к свойствам ее элементов

положение звезды или планеты, рассчитать рост кристалла. По сравнению с кристаллом, живая клетка уже представляет систему сложную.

Сложные системы состоят из большого числа динамичных структур (подсистем), взаимодействие между которыми постоянно изменяется. Например, движущиеся потоки воздуха в атмосфере. Практически невозможно точно рассчитать их путь. Вывести точный закон в метеорологии (подобно закону движения жидкости или газа в классической механике) невозможно из-за непредсказуемости, случайности элементов, из которых складываются климатические явления. Поведение такой системы отличается фундаментальной неопределенностью. Точный расчет в этом случае заменяется вероятностным прогнозом, который более надежен в долгосрочном варианте: прогнозируется тенденция поведения системы, а не ее конкретные действия.

Под поведением в кибернетике понимается любое изменение объекта по отношению к окружающей среде. Сложные системы отличаются собственным внутренним законом поведения, или *целесообразностью*. Их подсистемы также могут иметь собственные цели, не всегда совпадающие с целями системы в целом. Поведение сложных систем строится по принципу *обратной связи*, который выделяет зависимость между воздействием на систему и ее реакцией. Если поведение системы усиливает внешнее воздействие, то имеем дело с положительной обратной связью, если уменьшает, то имеем дело с отрицательной обратной связью. Возможен и третий вариант, когда система не реагирует на внешнее воздействие, сохраняя свои параметры. Такой характер взаимосвязи системы и ее окружения называют гомеостатическим. Примером может служить постоянство температуры тела у человека, которое поддерживается организмом независимо от температуры окружающего воздуха. Правда эта независимость тоже имеет свои пределы.

Со сложными системами человек сталкивался задолго до кибернетики, управляя машинами и людьми, исследуя регуляцию жизненных процессов в природе. Однако понятие цели и целесообразности противопоставлялось представлению о естественной (объективной) причине явлений природы, сложившемуся в физике. Накопленные знания об управлении и организации носили локальный характер, и относились к области философии и искусства политики.⁹³

⁹³ В 1843г. польский мыслитель Б.Трентовский опубликовал книгу «Отношение философии к кибернетике как искусству управления народом». А.Ампер в книге «Опыт философских наук» составил новую классификацию наук, в которой кибернетика как наука о текущей политике и практическом управлении государством стоит на третьем месте.

В современной системе знания теоретическое становление кибернетики связано с *выделением общих закономерностей управления сложной системой* (а не специфики отдельных процессов управления в том или ином классе событий). Именно такая познавательная установка привела к оформлению совершенно новой междисциплинарной области естествознания, обращенной к исследованию целостности одной системы и систем объектов, а также природы в единстве ее взаимосвязей.

Сложные системы описываются в кибернетике не только структурно (из чего они состоят), но и функционально (как себя ведут). Главной характеристикой сложной системы выступает ее *целостность*. Это подчеркивается выделением *инвариантов* – особых структурно-функциональных свойств, которые при любых внешних воздействиях на систему остаются постоянными, не меняются в потоке событий. *Инварианты системы* определяют ее качество. Другими словами, представляют собой такую характерную черту системы, которая позволяет установить ее идентичность в различных условиях и в разные периоды ее развития.

Сложную динамическую систему характеризует внутренняя направленность поведения – *целесообразность*. Это свойство не вызывает сомнения в отношении живого организма. В технике целенаправленные машины получили название сервомеханизмов. Пример: торпеда, имеющая систему поиска цели. Целенаправленное поведение технической системы основывается на механизме обратной связи и прогнозе первого, второго и далее порядков. Поэтому наиболее точное определение кибернетики представляет ее как науку о сложных целенаправленных технических системах, которая распространяется на все возможные системы с внутренней динамикой.

В истории естествознания развитие представлений о системах было связано с выявлением универсального механизма действия. Новое время (XVII-XVIII вв.) было веком часов, XVII-XIX вв. – веком тепловой (паровой) машины, XX в. стал веком универсальной связи и управления, принципы которого являются предметом кибернетики.

Управление понимается как процесс (особый вид движения, изменения), в котором начало и конец имеют целенаправленный характер, в отличие от физического или химического процесса, протекающего в природе на основании законов сохранения энергии или вещества (такие процессы определяются как самопроизвольные). В процессе управления определяющим является *целенаправленный вызов изменений в системе* или перевод ее из

одного состояния в другое в соответствии с избранной целью. Сложность такого процесса связана с необходимостью прогноза изменений, которые получит система после управляющего воздействия (например, сигнала, несущего руководящую информацию). В реализации эффективного управления (достигающего поставленной цели) существенное значение приобретает качество передачи информации, максимальное избежание разнотечения (устранение ситуации «испорченный телефон»), скорость и своевременность управляющих сигналов.

Свойством управляемости обладают далеко не все системы, хотя в общей совокупности природы, конечно, все системы взаимосвязаны. Простые системы образуют уровень физических систем, сложные – уровень органических систем.

В качестве необходимого условия управляемости системы выступает ее *организованность*, которая связывается с наличием потенциальных возможностей выбора действия. Простую систему характеризует наличия определенной структуры. Концепции строения вещества и атома в физике раскрывает именно эту сторону простых систем. *Организованность сложной системы* определяется не только структурной организацией (тела), но и некоторой внутренней программой, обеспечивающей целесообразность действия. Поэтому в кибернетике особое значение придается раскрытию содержания понятия *целесообразность*, а также связанных с ним понятий: цель, целевая причина, целевая установка.

В истории мысли понятие *целевой причины* было введено Аристотелем, который таким образом разграничил принцип внутреннего действия, характерный для живой природы, и принцип внешнего действия, характерный для неживой природы. Естествознание развивалось именно как знание о действующих (физических) причинах, которое строится по принципу следования естественной логике природы. Успехи теоретической науки были достигнуты, прежде всего, в области физики, описывающей внешние действующие причины. Самый сложный период в развитии физики связан с введением в описание событий целевой установки. Именно на это указывало соотношение неопределенности Гейзенberга, устанавливающее влияние субъективного взгляда наблюдателя на выбор модели описания микропроцессов субатомного уровня (волновая модель или структурная).

В отношении биологических систем принцип целенаправленного действия был сформулирован в теориях эволюции XIXв. В качестве

природной (биологической) целесообразности поведения организма рассматривалось стремление организмов к выживанию и размножению.

В кибернетике целевая причина выступает в качестве исходной при описании сложной системы, ее поведения и управления. Эффективность процесса управления, его надежность связывается с достижением цели управления. Цель понимается абстрактно как некоторая внутренняя установка, определенная внешней средой, внутренними потребностями системы или потребностями субъекта управления. Введение в систему науки субъекта управления в его абстракции (безотносительно к Богу или человеку) – еще одно приобретение естествознания, связанное с развитием кибернетики.

Благодаря кибернетике *целевая модель объяснения* происходящих событий получила научный статус, вопреки ее изгнанию в область метафизики в предыдущую эпоху развития естествознания. В конце XXв. целенаправленность рассматривается очень широко – в применении к разнообразным классам систем и организации работы искусственных управляемых систем. Вводится представление об иерархии целей и акцентируется внимание на прагматических целевых установках программы. Один из принципов надежности управления в кибернетике гласит: цель управления должна быть принципиально достижимой.

2. Методология функционального подхода в научном исследовании

Кибернетический способ исследования сложных систем на основе обратной связи получил название *функционального подхода*, характерной особенностью которого является установка на изучение реакций системы в ответ на внешнее воздействие сигнального характера.

Система предстает в качестве «черного ящика», имеющего вход (на который поступает некоторый сигнал) и выход (действие, реакция, программа поведения). Внутренняя структура сложной системы не конкретизируется и вообще не рассматривается, анализируются только ее наблюдаемые ответные действия и необходимые для их реализации функции.

До кибернетики подобный *поведенческий подход* разрабатывался в психологии. Особенно эффективно - в дрессировке животных. Поведенческий подход стал основанием бихевиоризма (behavior - англ. поведение) – популярной концепции в психологии, трактующей психику через отношение «стимул-реакция». Кибернетика использовала поведенческий принцип для разработки абстрактных принципов эффективного управления системой.

Утверждая универсальность принципа обратной связи в изучении и конструировании сложных систем, строение которых невозможно точно описать, кибернетика распространила функциональный подход на широкий класс явлений неживой и живой природы.

В основании функционального подхода лежат две идеи:

- 1) общность закономерных процессов связи и управления для разнородных материальных систем;
- 2) взаимосвязь целесообразности и управления в организации действия системы.

Закономерности, которые открыла кибернетика, позволили выделить новую область функциональных свойств и новые объекты научного исследования - *функциональные системы*.

Предложенная академиком П.К.Анохиным теория функциональной системы,⁹⁴ давала описание взаимосвязи систем разного уровня организации в живой природе на основе понятия опережающего отражения и информации, выделяла особое значение в функционировании сложной системы систематизирующего фактора, которым выступает результат действия. Базовым исходным принципом в теории П.К.Анохина выступил принцип единства структуры и функций, применение которого к анализу биологических систем привело к выводу, что фундаментальным фактором становления и эволюции сложных организмов в живой природе является возникновение особых *функциональных органов*, назначение которых – обеспечить реализацию необходимого, жизненно важного действия. Пример функционального органа - инстинкт. Более того, потребность в определенных функциях в ходе адаптации и выживания вида становится потенциальным фактором структурного изменения тех или иных систем организма. Так, в процессе эволюции человека подобные изменения могла приобрести гортань с тем, чтобы обеспечить возможность речевой функции, которая в человеческом сообществе играет роль наиболее эффективного способа коммуникации и управления поведением.

В функциональном подходе целесообразность и управление рассматриваются в качестве фундаментальных оснований живых (в общем случае, организмических, или органических) систем. Эти основания образуют два полюса существования такой системы и оказываются так тесно переплетенными, что отдать предпочтение какому-то одному из них невозможно. Органичная система строится по принципу дополнительности. Любой элементарный процесс управления предполагает цель, а целесообразное поведение, так или иначе, управляемо. Поскольку управление всегда

⁹⁴ Анохин П.К. Избранные труды: Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Наука, 1978. – 400с.

имеет в основании некоторую информацию, информационные качества, связанные с потенциальными возможностями в адаптации системы, определяют ее жизненный горизонт.

Со стороны конкретных наук функциональный подход опирается на теорию информации, оперирующую понятием абстрактного информационного процесса и теорию управления, оперирующую понятием автономного процесса управления, который строится на основе обратной связи. Автономный процесс управления (самоуправление) и первичная информация в системе - две взаимно дополнительные сущности каждого элементарного действия органичной системы. Главное положение функционального подхода – нет информации вне управления и наоборот. Таким образом, информацию можно считать и предпосылкой процесса управления и его результатом.

Общие законы, сформулированные в кибернетике, относятся к надежности управления действиями сложных систем.

Закон разнообразия: эффективное управление системой возможно только в том случае, если разнообразие управляющей системы выше разнообразия управляемой.

Закон сложности: чем выше сложность системы, тем менее она управляема. Существует порог сложности системы, за которым тотальный контроль поведения системы становится невозможным из-за нарастания системных эффектов.

3. Теория систем и системный подход в истории науки XXв.

История становления *теории систем* начинается еще в античности, когда формулируется представление о «едином» в отличие от «многого». В эпоху Возрождения это различие становится основанием мировоззренческой позиции, получившей название *пантеизм*. Главный принцип пантеизма – неразличимое единство природы и Бога. Благодаря такой установке распространяется представление о самостоятельном творчестве природы, а в описании природных явлений нематериальные силы заменяются силами физическими. В XIXв. идея единства, взаимосвязи мировых событий разного уровня (в частности, развития материи и духа) разрабатывается в немецкой классической философии. В панлогизме Гегеля заявлена идея некоторого общего принципа (абсолютной идеи) становления единства мира, единства природы и духа. Мировоззренческий контекст XIX века и развитие

эволюционных теорий в биологии способствовал распространению системных идей в начале XXв.

Системный принцип утверждается в процессе научной систематики строения растений и животных, становления эволюционного учения. Хотя этот принцип явно не выделен в биологических учениях XIXв., именно он составляет концептуальную основу теории эволюции Ламарка, теории катастроф Кювье, теории естественного отбора Дарвина.

Теория систем как междисциплинарная общенаучная концепция сложилась во второй половине XXв. Австрийский ученый Людвиг фон Берталанфи (1901-1972) в 30-40гг. попытался дать определение понятия системы в его общем (общенаучном) значении, сформулировал принципы системного подхода и успешно применил этот подход в изучении биологических процессов. После второй мировой войны он выдвинул идею разработки общей теории систем. Его теоретическая программа включала:

- 1) выявление общих принципов и законов поведения систем независимо от их происхождения, природы составляющих элементов и отношений между ними;
- 2) выявление и формулирование объективных законов для биологических и социальных явлений;
- 3) синтез современного знания на основе сходства законов, описывающих разные сферы жизни природы, человека и общества.

Общая теория систем, по замыслу Берталанфи, должна была стать наукой о системах любых типов.⁹⁵ Главная трудность в создании общей теории систем - различие общетеоретического и конкретного знания. Стремление к универсальности в описании систем приводило к абстрактности, более характерной для философии, чем для естествознания.

Наибольшее развитие во второй половине XX века получили прикладные математические теории моделирования поведения систем и процессов, использующие аппарат теории множеств. Однако усилия Берталанфи не пропали даром. Благодаря заявленной программе распространилась новая познавательная стратегия в естествознании, получившая название системного подхода, появились новые междисциплинарные методы исследования, новый стиль мышления.

⁹⁵ Берталанфи Л. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. М., 1969. С. 23-82; см. также: Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. М., 1972; Садовский В.Н. Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы перспективы развития // Системные исследования. 1987. М., 1987. С. 29-54

Еще одно достижение несостоявшейся теории систем связано с формированием особого класса общенаучных понятий, которые играют коммуникативную роль в развитии современного научного дисциплинарного и междисциплинарного знания, образуя своеобразный концептуальный мост между науками, использующими различные языки описания природных явлений.

В конце XX века *системный подход становится общенаучной методологией* и применяется практически во всех науках (естественных и социогуманитарных). В современной системе междисциплинарных знаний, сложившихся в конце века на базе системного подхода, выделяют:

- техническую кибернетику (изучающую созданные человеком, искусственные системы),
- экономическую кибернетику (исследующую приложения общих законов об управлении системами к экономике),
- биокибернетику (исследующую живые организмы, поведение и мышление человека, его высшую нервную деятельность, субстратом которой рассматривается мозг и его тонкие нейрофизиологические структуры),
 - интеллектуально-информационную технологию,
 - когнитивистику (в основании которой лежит теория искусственного интеллекта, обобщающая исследования мышления и интеллектуального действия на основании выбора в пространстве возможных решений, компьютерной парадигмы интеллектуального действия, информационной парадигмы в описании деятельности мозга и мышления).

4. Методология системного анализа

Применение понятий системного подхода к анализу прикладных проблем в разных сферах привело к выделению *системного анализа* в отдельную концептуальную и предметную область.

В предмет *системного анализа* входит не только изучение объекта, явления или процесса, но главным образом исследование проблемных ситуаций. Одной из главных задач системного анализа выступает постановка цели или задачи, определяющей процесс управления (самоуправления) поведением сложной системы. Теоретическую основу системного анализа составили: кибернетика, теория информации, теория игр и принятия решений, анализ систем голосования.⁹⁶

⁹⁶ Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М. 1989

Проблемы развития системного анализа связаны с заимствованием конкретных приложений и инструментария из смежных областей, уже сложившихся в науке, в частности в кибернетике и прикладной математике. Основные понятия системного анализа совпадают с аппаратом теории систем: система, целостность, элемент, структура, эмерджентность. Чтобы отделить строго научный смысл понятия «система» от обыденных ассоциаций (вроде системы отопления или системы розыгрыша кубка европейских чемпионов) предлагаются термины: органичность (org), целостность (hole), интегральность, - подчеркивающие универсальные качества системы.

Несмотря на то, что в общенаучном контексте система рассматривается как целое, в системном анализе базовым понятием выступает математическое понятие множества, которое допускает возможность применения к изучению и описанию системы различных операций. При этом подчеркивается организованность, которая позволяет говорить и исследовать структурно-функциональную архитектуру системы, которая не присутствует в математических множествах (чисто количественных).

Значение организации и организованности в начале XXв. выделил А.А.Богданов (Малиновский), опубликовавший труд «Тектология», в котором обосновывал новую науку об организации в обществе. Принцип структурной организованности в первой половине века развивается также в гештальтпсихологии, которую Берталанфи считал одним из предшественников теории систем. В гештальтпсихологии разрабатывалась динамическая теория мышления, в основании которой лежало понятие структуры мыслеобраза, или гештальта (Gestalt – нем. образ) и процесса его переструктурирования в ходе постановки и решения проблем. Динамическая теория мышления Макса Вертгеймера опиралась на: 1) принцип целостности природных процессов, из которого следует, что психические процессы определяются не единичным воздействием, а структурой воспринимаемой ситуации в целом; 2) принцип динамичности, согласно которому течение психических процессов определяется изменяющимися соотношениями, возникающими в самом процессе. Решение формируется подспудно, когда осознается структурное нарушение мыслеобраза, и возникает неожиданно (что принято обозначать термином *инсайт*). В процессе мышления при этом последовательно осуществляются операции: перецентрирования гештальта – мыслеобраза ситуации (переход к видению, диктуемому объективной ситуацией); изменение смысла (перестановка частей в соответствии с их

местом и ролью в данной структуре); анализ ситуации в терминах «хорошей структуры».⁹⁷

В конце XX века фундаментальным понятием, раскрывающим общий смысл системности с точки зрения структурной и функциональной организации, выступает понятие *архитектура*, фиксирующее различие между набором элементов и целым (например, между кучей камней и зданием, между органическими молекулами и живой клеткой).

Термин «архитектура», взятый из области искусства, оказался очень конструктивным в области системного анализа, поскольку наилучшим образом позволил развести низкие уровни организованности систем (приближавшиеся к простой сумме элементов) и высокие.

В 90-х гг. XXв. методология прикладного системного анализа распространяется в сфере социальных исследований. Английские ученые Р.Флад и М.Джексон, помимо деления всех систем на простые и сложные, которые различаются по степени зависимости (независимости) от внешней окружающей среды, а также по способности эволюционировать, ввели критерий участия элементов и подсистем (групп и индивидов) в организации деятельности системы и предложили новую классификацию систем. Были выделены: *унитарные системы* с высокой степенью согласия относительно целей, ценностей и установок; *плуралистические системы*, в которых интересы и ценности различаются, но согласовываются посредством компромиссов и выработки приемлемых решений; *принудительные системы*, в которых различие ценностей, целей и установок приводят к конфликтам и навязыванию решений. Новая классификация определяла шесть типов систем, поскольку каждый из перечисленных типов может относиться и к простой и к сложной системе.⁹⁸

Методология исследования унитарных систем объединила методы, ориентированные на исследование систем с четкой, неизменной структурой. Применение формализованных количественных методов описания поведением системы в этом случае наиболее эффективно.

К *унитарной методологии прикладного системного анализа* относят: исследование операций, системотехнику (для простых систем), методологию жизнеспособных систем, предложенную С.Биром для сложных систем.⁹⁹ В основе методологии системного анализа жизнеспособной системы – аналогия

⁹⁷ Вертгеймер М. Продуктивное мышление. М. 1987.

⁹⁸ Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. М.,2001. См.: Глава 2. Основные направления прикладного системного анализа.

⁹⁹ В основе методологии жизнеспособной системы – аналогия между функционированием мозга человека и управлением социальной организацией. Бир С. Мозг фирмы. М., 1993.

между функционированием мозга человека и управлением социальной организацией

Методы исследования операций имеют четкое приложение в решении задачи оптимальной организации производственных процессов.¹⁰⁰ Нахождение оптимальных (эффективных) решений ведется на базе математики и компьютерной техники, поэтому исследование операций рассматривается как раздел информатики.

Системотехника представляет собой совокупность класса методов проектирования технических изделий, автоматов и систем автоматической обработки информации. В последнее время это направление включает интенсивно развивающуюся область компьютерного моделирования и проектирования. В конце века это направление привело к созданию CASE технологии (Computer Aided Software/ System Engineering – применение ЭВМ для проектирования систем). Эта технология предполагает моделирование систем через построение взаимосвязанных наборов графических диаграмм, а также технологию группового моделирования проблемы, в основе которой лежит метод структурного описания и анализ систем. При этом заранее предполагается, что исследуемая система простая, которая, несмотря на большое число элементов, разбивается на простые части и допускает достаточно простое формализованное описание.¹⁰¹

Представление об унитарных системах, которое возникает в 70-х гг. и опирается на кибернетический (функциональный, алгоритмический) подход, в применении к анализу социальных систем получило название *жесткого системного подхода*. Несколько десятилетий спустя в общую системную методологию вносятся изменения, которые позволяют создать более адекватные методы описания социальных систем. Этому способствует формирование представления о *мягких системах*, для которых характерна слабая структурированность и плурализм внутренних установок. Принципы исследования таких систем были предложены У.Черченом и представляли собой коммуникативную стратегию принятия коллективного решения в виде деловой игры, общая организация которой определяется установками на участие в процессе решения всех заинтересованных сторон, учет различных точек зрения, их интеграцию и синтез на уровне общего плана решения проблемы, а также обучение.

¹⁰⁰ Исследование операций. Методологические основы и математические методы: в 2-х тт. / Под ред. Дж. Моудера и С. Элмаграби. М., 1981.

¹⁰¹ Кальянов Т.К. CASE-структурный системный анализ. М., 1996

Большое влияние на развитие прикладного системного анализа оказали труды американского ученого Р.Акоффа, который, проанализировав эволюцию организаций в XXв., ввел историческую координату в характеристику социальных систем. Он пришел к выводу, что до 60-х гг. социальные системы можно было рассматривать как унитарные, жесткие «машины», служащие создателям и собственникам, либо как организмы, в которых цели подсистем подчинены общей цели системы. После 60-х гг., когда персонал становится более образованным и склонным к самостоятельному принятию решений, цели подсистем далеко не всегда совпадают с общей целью. В этих условиях более адекватной методологией системного анализа социальной системы выступает *интерактивный подход*, в котором развитие системного подхода в существенной мере оказываются связанными с коммуникативными моделями поведения и стилем мышления. В этом варианте системного подхода *информация* – главный ресурс управления.

5. Понятия и принципы информационной парадигмы

Исходный смысл термина «информация» связан со сведениями, сообщениями и их передачей. В 1948г. Клод Шеннон предложил количественный способ измерения потока информации, содержащегося в одном случайном объекте на основе двоичной системы. С тех пор количество информации измеряется в битах и байтах (байт - набор из 8 бит, т.е. количество информации в трех двоичных разрядах).

Первое научное расширение понятия информации дают математические «теории информации» (комбинаторная, топологическая, семантическая), в которых информация предстает измеримой величиной.

К свойствам информации относят:

- способность управлять физическими, химическими, биологическими и социальными процессами;
- способность передаваться на расстоянии (при перемещении носителя информации);
- способность подвергаться переработке;
- способность сохраняться в течение любых промежутков времени и изменяться во времени;
- способность переходить из пассивной формы в активную.

Общее определение информации Н.Винера имеет негативный характер: Информация – не материя и не энергия. В позитивном определении понятия *информация* ученые не достигли согласия. Можно выделить три основных подхода в интерпретации его содержания.

1) Физический подход представляет информацию как негэнтропию. Понятие энтропии в физике – это мера нарастания хаоса (беспорядка), следовательно, информация – это мера нарастания организованности (Л.Бриллюэн).

2) Кибернетический подход представляет информацию как меру разнообразия (У.Р.Эшби).

3) Философский подход представляет информацию как отраженное разнообразие (А.Д.Урсул и др.) или функциональное отражение.

В современной системе научных знаний общая тенденция в истолковании феномена информации представлена переходом от конкретных математических дефиниций информации как неопределенности, вероятности, алгоритма к мировоззренческому контексту, в котором основными выступают категории: отражение, различие, взаимосвязь, отношение.

Функциональный подход выделяет прагматический и ценностный аспекты информации, которые в математических теориях не рассматриваются. Информация соотносится с наличием в природе активного вида отражения, характерного для живого организма.¹⁰² Проблемным оказывается вопрос, обладают ли информацией только организмы, или уже на клеточном уровне можно говорить об информации. Во всяком случае, генетический код в микробиологии трактуется именно как информативная структура (несущая наследственную информацию).

Более широкий мировоззренческий подход к содержанию понятия информация развивается на основе понятия разнообразия (У.Эшби) и отражения (А.Д.Урсул). Трактовка информации через разнообразие открывает перспективу единого концептуального описания всех систем с различной степенью организованности. Концепция отраженного разнообразия опирается на представление о состоянии и измененном состоянии системы. Отражение в этом случае – возникает как особое состояние взаимодействующих систем, а информация - как особое отношение систем, которое определено реальным и возможным изменением их состояний. Информация как отраженное разнообразие функциональна по своей природе, опирается на отношение систем и представляет собой скорее свойство целого (отношения, связи систем), чем отдельно взятой системы, изъятой из этой связи (которая выступает только одной стороной отношения). Поэтому причинно-следственные связи в природе являются цепями передачи информации.

Термин «отраженное разнообразие» подчеркивает отношение систем, в котором существенную роль играет результат отношения системы к процессу отражения. Это отношения связано с обособлением системы, ее автономностью,

¹⁰² П.К.Анохин использует понятие *опережающее отражение*.

обуславливающей границы внутренних изменений и относительность (прагматическую и ценностную) информации для разных систем, вступивших во взаимодействие. В обособленной системе отражается не все разнообразие мира, которое объективно стремится к бесконечности. Этот термин, таким образом, подчеркивает ценностный аспект информации, избирательный характер реагирования системы в соответствии с ограничением поступления информации. С этой точки зрения фактором организации действия системы выступают не только цели, но и некоторые общие критерии целесообразности, ценности и идеалы, которые играют роль критериев ограничения пространства выбора (поля действия).

Наиболее развитое определение информации связано с выделением функциональной роли результата взаимосвязи (структурного отображения, образа, гештальта) в действии системы и прогнозировании ее поведения. Поэтому *феномен информации* характеризуют как *метасистемный*. Он всегда выражает больше, чем любое конкретное состояние системы, поскольку заключает в себе еще и свойства более широкой системы (метасистемы).

Информация, характеризуя внешний мир в собственных параметрах состояния систем и ценностных установках, становится фактором управления поведением системы.

Особое значение в жизни системы приобретает *информационная среда*, в которую погружена система. Информационная среда определяет и некоторое внутреннее пространство системы, которое в современной системе знания называют семантическим (смысловым) пространством. Именно в этом пространстве, которое можно назвать пространством внутренней детерминации действия, формируются ценностные критерии и целевые установки, возникает свой (субъективный) регулирующий и управляющий фактор – «информация об информации». Благодаря этому поведение сложноорганизованной системы определяется не только актуальным взаимодействием и предшествующими причинами, но и будущим, представленным в прогнозе ситуации, внутренней целевой установке, идеальном конечном результате (идеале).

Представление о внутренней детерминации раскрывают понятия целесообразности, целеполагания, целевой причины. В науке конца века фундаментальное значение приобретает понятие рефлектирующей системы, принципом организации и самоорганизации которой выступает цель, внутренняя установка, ее оценка и осмысление (рефлексия).

Современная наука выделяет информационные процессы в качестве фундаментальных процессов, наравне с физико-химическими. С этой точки зрения информация составляет главный ресурс не только общества, но лежит в основании

всего сущего. Например, в качестве фундаментальных характеристик физического вакуума современная наука рассматривает его информационные характеристики.

Исходные мировоззренческие положения информационной парадигмы в современном естествознании определяются положениями об универсальности информационных процессов и фундаментальности единства материи–энергии–информации в основании наблюдаемого мира и его эволюции.

Эти положения создают концептуальную базу в построении новой «информационной картины мира» в конце XXв. В стремлении создать единую теорию универсума современная наука (в частности физика) приходит к представлению об универсальном поле сознания, к описанию характеристик которого можно применить аппарат квантовой механики.¹⁰³ В концепции Семантической Вселенной Л.В.Лескова за исходное берется понятие универсального оператора смысла (аналог сознания) и информация, содержащаяся в знаке. Антиэнтропийная направленность универсального оператора (сознания) может проявиться только в том случае, если существует внешний по отношению к нему источник негэнтропии в виде информационного поля. В концепции Лескова - это состояние физического вакуума, названное *мэоном*. В *мэон-био-компьютерной концепции* (МБК-концепции) Л.В.Лескова информационные качества системы, в частности физического вакуума, получают базовое мировоззренческое значение. Объяснение механизма эволюционной динамики связывается с семантическим давлением на систему, способным вызвать ее разрушение.¹⁰⁴

В концепции «Биоэнергоинформатики» В.Н.Волченко постулируются три проявления Вселенной: информация (сознание), энергия (материя), смысл. В этой модели Вселенной, наряду с информационно-энергетическим пространством, существует семантическое пространство, в котором заложены все смыслы эволюции. Все системы несут информацию и могут рассматриваться как живые, обладающие неким эквивалентом сознания. Информационно-энергетическое пространство Вселенной образует Мир Сознания, единый для вещественных и чисто информационных систем. Потенциальный информационно-энергетический барьер, существующий между вещественным и «тонким» миром преодолевается благодаря «туннельному эффекту». Понимая информацию как структурно-смысловое разнообразие, которое может быть не проявленным, проявленным и

¹⁰³ Московский А.В. Платон, Флоренский и современная наука // Сознание и физическая реальность. 1996. №1-2. С.33-41. Джан Р.Г., Данн Б.Д. Границы реальности. Роль сознания в физическом мире. М.1995. Сафонов И.А. Человек. Вселенная. Время. СПб.1997.

¹⁰⁴ Лесков Л.В. На пути к новой картине мира // Сознание и физическая реальность. 1996. Т.1. №1-2. С.42-54.

отраженным, автор проецирует на нее принцип Троицы: соответственно - Абсолют, Логос и Дух.¹⁰⁵

Информационные модели объяснения распространяют представление об информационной причинности на все явления микро-, макро- и мега мира, а также на все биосферные, химические, психические, сознательные, культурные и социальные явления. На этой базе утверждается информационная парадигма, выступающая в качестве концептуальной основы новых проблемных областей исследования, в частности, в теоретической биологии, биохимии, биофизике.

Под *информационной причинностью* понимается закономерность действия системных требований, которая имеет кодовый характер и проявляется в запуске последовательности действий (или программы действия), приводящих к определенному результату. Суть информативного кода нормирование некоторого потенциального жизненного пространства системы. Такого рода системная причинность, выраженная кодом, указывая неявные границы действий, задает параметры самоопределения системы.

Распространение информационного подхода связано с введением новых общенаучных концептов, обладающих эвристическим потенциалом. Представление об *информационных качествах системы* связано с определением потенциальных возможностей ее адаптации, т.е. ее жизненного горизонта. Предпосылкой такого представления служит взаимосвязь системы со средой. Сложная динамическая системы (в частности биосистема) всегда погружена в некую жизненную среду (не только природную, но и информационную). Ситуативная связь с жизненной средой жизни и ее регуляция выражается понятиями адаптации и целесообразности действия. Более узко информационные качества системы соотносятся с количеством снятой неопределенности, что может быть выражено математически.

Информационный процесс понимается как некий обобщенный процесс, предполагающий выбор. Динамика такого процесса предполагает формирование структур подобных знанию в качестве базы прогнозирующего целесообразного адаптивного действия. Выбор – это не сам процесс, а его завершение, результат действия. По традиции в естествознании процесс понимается как изменение системы во времени. Не каждый процесс завершается выбором, поэтому информационные процессы характерны только для определенного класса систем и процессов.

¹⁰⁵ Волченко В.Н. Принятие Творца современной наукой // Сознание и физическая реальность. 1997. №1. С.1-7.

Информационная система – система, способная воспринимать, запоминать, генерировать макроинформацию, извлекать ценную информацию и использовать для достижения своих целей.

Выбор, который не запоминается системой, соотносится с понятием *микроинформации*. Выбор, который запоминается и становится базой для генерации новой информации, для прогноза и саморегуляции системы, – с понятием *макроинформации*.¹⁰⁶

Информационная среда в широком смысле соотносится с объективным существованием пространства потенциального выбора действий (потенциальных возможностей в прогнозировании действия). Информационные среды могут быть внешними и внутренними. Иерархия информационных сред, например, в социальном пространстве предполагает сложную семантику, которая играет ключевую роль в формировании жизненного мира индивидуума. Достаточно просто перечислить семантические (смысловые) уровни, к которым можно отнести архетипы подсознания, культурные смыслы, социальные нормы, языковые традиции, интеллектуальные и профессиональные среды, чтобы убедиться в жизненном значении информационной среды.

Информационная парадигма определяет методологию исследования и обоснования результатов в проблемно ориентированных дисциплинах, соединяющих традиционно различные концептуальные области, предметом которых выступают биологические (и органичные) системы.

Ключевое понятие *информация* в контексте теории динамических систем (биосистем) определяется как случайный и запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных. Таким образом, под информацией подразумевается только зафиксированная выбором информация.¹⁰⁷ Что в известной мере совпадает с представлением о некотором подобии знания и структуре знания, составляющей базовый концепт *когнитивного подхода*,¹⁰⁸ заявленного в области искусственного интеллекта.

¹⁰⁶ См.: Чернавский Д.С. Синергетика и информация. М., 2004

¹⁰⁷ Кацлер Г. Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967

¹⁰⁸ Предложен М.Мински в 70-х гг. Термин *когнитивный* происходит от лат. *cogito* (мыслю). Когнитивный подход строится на базовом представлении о когнитивных процессах, в основании которых лежат структуры знания и операции с ними. Общая методологическая платформа для физиологии, нейропсихологии, лингвистики, антропологии, информационной технологии во взгляде на когнитивный процесс – представление о некоторой единой архитектуре поведения человека, животного, машины, основание которой связывается с обработкой информации.

7. Синергетическая парадигма: истоки и методологические принципы

7.1 Теоретические и экспериментальные основания синергетики.

Начиная с 50-х гг. XXв. внимание ученых различных отраслей естествознания привлекают процессы самоорганизации в сложных системах, наблюдаемые не только в живой природе, но также на уровне химическом и физическом (в виде самопроизвольно возникающих структур и периодических процессов - автоколебаний).

В 1951г. советский химик Б.П.Белоусовым установил особые закономерности в автокаталитических химических реакциях: строгую периодичность смены цвета в процессе определенной окислительно-восстановительной реакции, которую можно было проверять по часам. Периодичность изменения цвета, говорила о периодическом чередовании промежуточных продуктов реакции. В 60-х гг. биофизик А.М.Жаботинский объяснил механизм реакции Белоусова, исследовав сходные химические реакции. Периодичность возникновения промежуточных продуктов химических реакций указывала на сходство протекания таких химических реакций с автоколебаниями, характерными для различных физических (механических, электромагнитных) систем и биологических ритмов.

В теории автоколебательных процессов¹⁰⁹ было введено понятие «автоволны» (академик Р.В.Хохлов - 1926-1977), обозначавшее особый род волн, автоматически поддерживающих свои физические параметры за счет среды, в которой они распространяются. Теория автоколебаний нашла применение в нейрофизиологии. В частности, нервный импульс, который бежит без затухания по длинному (до 1,5 м) тонкому нервному волокну (диаметром менее 0,025 мм), представляет собой пример автоволны.¹¹⁰

В 60-х гг. выдвигается концепция автокатализа в химии (А.П.Руденко), объясняющая способность катализаторов к собственному структурному совершенствованию в ходе химической реакции. Это оказывается возможным за счет энергии базовой химической реакции в случае открытой системы. При своевременном отводе отработанной энергии и усвоении свежей энергии

¹⁰⁹ В отечественной науке в середине века разрабатывалась школами академика Л.И.Мандельштама (1873-1944) и академика А.А.Андронова (1901-1952).

¹¹⁰ По такому же принципу работают сердце и головной мозг. Обработка информации в коре головного мозга происходит на уровне взаимодействия между автоволнами возбуждения и торможения, которые охватывают обширные участки головного мозга. Работа сердца также регулируется волной возбуждения, которая с периодичностью в секунду распространяется по сердцу, вызывая сокращение сердечной мышцы. Волна возбуждения связана с временным уменьшением разности электрических потенциалов между наружной и внутренней сторонами мембранны сердечных клеток, которая регистрируется на ЭКГ в виде периодического всплеска.

базовой химической реакции катализитическая система поэтапно совершенствуется (эволюционирует).

Исследуя поведение органических макромолекул на уровне неживых, доклеточных структур, микробиолог М.Эйген установил закономерности усложнения организации макромолекул на предбиологическом уровне, к которым применимо понятие естественного отбора и применил термин самоорганизации в описании наблюдаемых процессов.¹¹¹

Одной из предпосылок возникновения нового направления в исследовании сложных систем, несомненно, послужили работы в области кибернетики, где еще в 50-х гг. XXв. была поставлена задача создания самосовершенствующихся автоматов. Найти решение тогда не удалось, но начало исследованию проблемы самоорганизации в широком междисциплинарном контексте было положено. Исследуя диффузионные процессы, Н.Винер совместно с биологом А.Розенблютом рассмотрел задачу о радиальном несимметричном распределении концентрации в сфере. Английский математик А.Тьюринг предложил модель структурообразования (морфогенеза) в виде системы двух уравнений диффузии с дополнением, которое описывало реакции между возникающими структурами («морфогенами»). А.Тьюринг показал, что в реактивной диффузионной системе (обменивающейся со средой энергией) может существовать неоднородное распределение концентраций, которое периодически меняется в определенные промежутки времени. Непрерывная модель самовоспроизведения автоматов Дж. фон Неймана также основывалась на нелинейных дифференциальных уравнениях в частных производных, описывающих диффузионные процессы в жидкости.

В области физики процессы самоорганизации сначала исследовались в связи с изучением турбулентности и созданием новой лазерной техники. Союз математиков и физиков в отечественной науке опирался на достижения первой половины века в развитии математических методов нелинейной динамики (А.М.Ляпунов, Н.Н.Боголюбов). К проблеме самоорганизации приводили исследования неравновесных структур плазмы в термоядерном синтезе, разработка теории активных сред, биофизические исследования. В 60-х гг. процессы самоорганизации исследовались в рамках отдельных дисциплин (химии, биологии, физики), между которыми ученые не видели связей. В 60-70 гг. была создана теория турбулентности (А.Н.Колмогоров, Ю.Л.Климонтович). За теорию генерации лазера группа ученых (Г.Б.Басов, А.М.Прохоров, Ч.Таунс) получила Нобелевскую премию.

¹¹¹ Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. М.: Мир, 1982.

В следующем десятилетии предметом анализа становится аналогия процессов самоорганизации в системах различной природы. Шаг к концептуальному обобщению в объяснении процессов самоорганизации был сделан в 70-х гг. Группа бельгийских ученых во главе с И.Пригожиным сопоставила реакцию Белоусова-Жаботинского с абстрактной моделью самоорганизации английского математика и кибернетика А.Тьюринга и выдвинула собственную теоретическую модель самоорганизации физических и химических систем. Источник процесса самоорганизации И.Пригожин связал со случайными неоднородностями (флуктуациями, микрочастицами, микросредами), которые до некоторых пор гасятся силами внутренней инерции. Нарастание случайных микрофлуктуаций ведет к состоянию внутреннего хаоса в системе. Но когда в систему с хаотическим состоянием поступает достаточно большое количество внешней энергии, то возникают определенные *макроскопические конфигурации (или моды)*, представляющие собой коллективные формы поведения множества микрочастиц. Среди возникающих мод происходит отбор наиболее устойчивых.

Следующий и самый решительный шаг в становлении общей науки о самоорганизации сделал немецкий физик Герман Хакен, выделивший особое значение коллективных процессов в организации поведения всех сложных систем. Общность и значение этих процессов для самоорганизации сложной системы он и подчеркнул введенным термином «синергетика» (*συνεργέτικός* – греч. совместный, согласованно действующий). В Штутгартском Институте синергетики и теоретической физики Профессор Г.Хакен объединил усилия большой международной группы ученых, создавших серию книг по синергетике.

Исследуя согласованные процессы в различных физических и химических системах, Г.Хакен подчеркнул фундаментальную роль коллективного поведения подсистем в процессе самоорганизации – возникновении новой устойчивой неравновесной структуры. Переход системы от неупорядоченного (хаотичного) состояния к упорядоченному, по мнению Г.Хакена, происходит за счет совместного, синхронного действия многих образующих ее элементов. С этого времени синергетика ассоциируется с теорией самоорганизации.

Под *самоорганизацией* понимается возникновение упорядоченных структур и форм движения из первоначально неупорядоченных,

нерегулируемых форм без специальных, упорядочивающих внешних воздействий.¹¹²

Новое направление в естествознании, возникшее в 80–90-х гг. XXв., в качестве основного предмета исследования выделило поиск общих закономерностей согласованного поведения сложных систем различной природы. Системный подход, ставший к этому времени традиционным, претерпевает существенные изменения. В отличие от кибернетики, исследующей саморегуляцию в равновесных сохраняющихся системах на основе отрицательной обратной связи, в новом направлении главный акцент ставится на положительной обратной связи, выводящей систему из состояния равновесия, и механизмах возникновения нового упорядоченного состояния.

В современной литературе синергетику часто определяют как науку о самоорганизации в системах, далеких от равновесия. Такие системы характеризуются нелинейностью (процессы в них описываются математическими уравнениями второй и третьей степени), открытостью (способностью за счет обмена энергией удерживать состояние вне термодинамического равновесия).

В конце века синергетика как общая теория самоорганизации становится популярным научным направлением, ориентированным на исследование связей между структурными элементами, которые образуются в открытых системах (биологических, физико-химических и др.) благодаря интенсивному обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях. Особый понятийный аппарат синергетики разрабатывается на базе физической химии и термодинамики, математической теории случайных процессов, нелинейных колебаний и волн. В современной литературе синергетика определяется как одна из фундаментальных теорий постнеклассической науки, изучающая поведение сложных нелинейных систем.¹¹³

7.2 Теория самоорганизации

Источниками теории самоорганизации, изучающей единый алгоритм перехода от менее сложных и неупорядоченных состояний к более сложным и упорядоченным - стали работы в области математической теории катастроф (Р.Том, В.И.Арнольд), неравновесной термодинамики (И.Пригожин), согласованных (когерентных) процессов в физике (Г.Хакен).

Математическая теория катастроф была сформулирована в 70-х гг. XXв. По влиянию на умы появление этой системы в математике и науке

¹¹² Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. М., 1996, с.61.

¹¹³ Лебедев С.А. Философия науки: Словарь основных терминов. М., 2004. С.225.

сравнивается с переворотом, вызванным введением дифференциального исчисления. В три последних десятилетия века теория катастроф с успехом применялась в естествознании, технике, экономике, лингвистике, психологии, социологии. Наиболее эффективно - в обосновании хлопков упругих конструкций, в теории опрокидывания кораблей.

Основной предмет теории катастроф – ситуации, когда небольшие постепенные изменения ведут к неожиданному резкому, непредсказуемому поведению системы. Термин «катастрофа» связывается именно с такими скачкообразными изменениями, возникающими при плавно меняющихся параметрах. В теории катастроф разрабатываются методы факторного анализа. Математические модели критических ситуаций, которые были построены на этой основе, выявили зависимость поведения системы в критических ситуациях от ее предыстории (явление «гистерезиса»). Факторный анализ, позволил анализировать поведения системы режиме неожиданно возникающего беспорядка.¹¹⁴

Теория катастроф выделила *нелинейность* в качестве фундаментальной характеристики поведения сложной системы в критической ситуации, ввела в оборот понятие *бифуркации* (*bifurcus* - лат. раздвоенный). Содержание этого понятия в математике определено изменением числа (или устойчивости) решений уравнений определенного типа для модели, описывающей систему при изменении управляющих параметров. В точке бифуркации система имеет разные ветви решений, и как бы совершает «выбор», который определяет ее дальнейшую эволюцию. Этот «выбор» не зависит от случайных, непредсказуемых факторов.

Теория неравновесных процессов в термодинамике сформулирована бельгийским ученым Ильей Романовичем Пригожиным (1917-2003), Нобелевским лауреатом 1977г. в области физической химии. И.Пригожин с группой сотрудников исследовал процессы в незамкнутых системах, обменивающихся с окружающей средой веществом и энергией. Его теория сформулирована на экспериментальном материале исследования фазовых переходов. Отправным пунктом в исследованиях Пригожина стала чувствительность неравновесных фазовых переходов к конечным размерам образца, форме границ и другим факторам, в отличие от обычных фазовых переходов.

Само представление о равновесии сложной системы в физике конца века претерпело изменение. С точки зрения молекулярно-кинетической теории в замкнутой изолированной системе положению равновесия отвечает состояние с высокой энтропией, равнозначное состоянию максимального хаоса (в смысле броуновского движения частиц). Сложная система, двигаясь к так

¹¹⁴ Арнольд В.И. Теория катастроф. М., 1990.

понимаемому равновесию (состоянию с максимальной энтропией), не всегда его достигает из-за ограничивающих условий, которые могут быть постоянными, а могут изменяться. Если ограничения постоянны (например, определенная температура на границах), то переменные состояния системы стремятся к независимым от времени величинам, достигая квазистационарного или стационарного состояния. Такие состояния сложной системы Л. фон Берталанфи назвал *текущим равновесием*.

В сложной системе процессам, нарушающим текущее равновесие, противостоит внутренняя релаксация (восстановливающий, возвратный процесс). Если возмущающие процессы менее интенсивны, чем релаксационные, то говорят о локальном равновесии (существующем в малом объеме), которое может возникать независимо от состояний других частей системы. Идею локального равновесия И.Пригожин иллюстрировал на примере газа, находящего между плоскостями, нагретыми до 100 С и 0 С. Поскольку процесс теплопередачи происходит медленно, газ находится в неравновесном состоянии, но где-то найдется малая область локального равновесия газа.

Равновесное и неравновесное состояние тел в термодинамике характеризуется количеством энтропии. В 1947г. И.Пригожин сформулировал *теорему о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии* (в состоянии текущего равновесия), которое отвечает небольшим значениям температурных градиентов. Если граничные условия не позволяют системе прийти в устойчивое равновесие, в котором производство (прирост) энтропии равно нулю, то система придет в состояние с минимальным производством энтропии. Устойчивость стационарных состояний с минимальным производством энтропии получила название *устойчивого неравновесного состояния*. Эта идея Пригожина перекликалась с принципом Ле Шателье, сформулированным в 1884г.: если в системе, находящейся в равновесии изменить один из факторов равновесия, то происходит реакция, компенсирующая это изменения и возвращающая систему в состояние равновесия.¹¹⁵ Способность возвращаться в исходное состояние – свойство саморегулирующихся систем, которые в природе встречаются довольно часто. Этот принцип известен в физике как принцип наименьшего действия, в биологии – как закон выживания, в экономике – как закон спроса и

¹¹⁵ Современный вид этот принцип получил после обобщения его немецким физиком Карлом Брауном в 1887 г. и звучит так: система, выведенная внешним воздействием из состояния с минимальным производством энтропии, стимулирует развитие процессов, направленных на ослабление внешнего воздействия.

предложения. Общее для всех этих случаев состоит в том, что система стремится выйти из преобразований с наименьшими потерями.

Принцип локального равновесия и теорема о минимуме производства энтропии в стационарных состояниях были положены И.Пригожиным в основу *термодинамики необратимых процессов*. По его мысли, неравновесная термодинамика должна преодолеть разрыв двух картин мира: физической (структурной и стационарной, описывающей обратимые процессы, происходящие в абстрактном геометрическом мире – события предстают траекториями в неизменном трехмерном евклидовом пространстве) и биологической (эволюционной, описывающей необратимые процессы, происходящие в функциональном мире, локализованном во времени и пространстве).¹¹⁶

В физической картине базовым состоянием системы считается состояние термодинамического равновесия – самого простого из всех возможных состояний. Поэтому мир подобен заведенной когда-то игрушке, сложные взаимодействия в которой поддерживаются законами сохранения. Тенденция в развитии системы только одна – разрушение, или стремление к состоянию термодинамического хаоса. Квантовая теория не изменила этого общего представления, но внесла сомнение относительно его объективности и универсальности. В физической картине упорядоченное состояние и высокоорганизованные формы, наблюдаемые в доступной части Вселенной – случайные явления. Жизнь, для которой характерна эволюционное усложнение структур и функций систем, как таковая не имеет оснований в физическом мире. Она противоестественна, поэтому ее существование можно объяснить либо «созданием», либо случайностью.

Идея И.Пригожина состояла в поиске четкого определения разных уровней научного описания явлений и выяснения условий, позволяющих переходить от одного уровня описания к другому. Фактически он заявил проблему единого описания физических и биологических явлений природы средствами современного языка науки, в частности на базе термодинамики. Именно эта область физики давала возможность ввести в описание всех событий и явлений фактор времени. Второе начало термодинамики позволяло связать необратимые процессы с тепловыми, энергетическими процессами через возрастание энтропии.

¹¹⁶ Эти концепции «геометрического мира» и «организованного, функционального мира» в современном естествознании не сводятся одна к другой. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. М., 1985.

Одну из первых попыток физического описания биологических структур предпринял ранее Э.Шредингер в своей книге «Что такое жизнь с точки зрения физика» (1944), в которой подчеркивал статистический характер тех физических и химических законов, которые играют важную роль в жизни организмов. Развитие его идей в 60-х гг. XXв. привело к возникновению термодинамики открытых систем, состояние которых может меняться в широких пределах в зависимости от влияния внешней среды. С тех пор стали различать термостатику (теорию, описывающую законы поведения изолированных стационарных систем) и термодинамику (теорию неравновесных, открытых систем). Это различие связано еще и с тем, что в термостатике процессы можно описать математическими уравнениями первого порядка, т.е. через линейную зависимость параметров состояния. В открытых системах неравновесные процессы выражаются уже не линейными зависимостями, а уравнениями второго и более порядков. Поэтому в концепции И.Пригожина необратимость процессов выражается через понятие *нелинейности*.

Главным объектом термодинамики необратимых процессов выступают *неравновесные системы*, которые поддерживают относительную устойчивость своего состояния за счет притока вещества и энергии. Для характеристики таких систем И.Пригожин ввел понятие *диссипации* (dissipatio – лат. рассеивать, разгонять).

Формальное описание поведения неравновесных систем в концепции И.Пригожина опирается на представление о *функции диссипации*, под которой понимается внутреннее производство энтропии за единицу времени, и *диссипативных (рассеивающих) системах*, в которых эта функция отлична от нуля. В таких системах энергия упорядоченного движения переходит в энергию неупорядоченного движения, в конечном счете, в тепло. Практически все системы в природе являются диссипативными, поскольку трение и другие силы сопротивления приводят к рассеянию (диссипации) энергии. В отличие от замкнутых изолированных систем, которые рассматриваются классической термодинамикой, такие системы стали называть *открытыми системами*, т.е. системами, обменивающимися энергией со средой.

Локальные упорядоченные образования, возникающие в диссипативных системах в ходе необратимых неравновесных процессов, Пригожин назвал *диссипативными структурами* (летучими, возникающими при рассеивании свободной энергии). Их образование стимулируется не внешним воздействием, а происходит за счет внутренней перестройки системы. Такой

процесс стихийной внутренней перестройки системы (*самоорганизации*) для макроскопических функций системы описывается математически нелинейными уравнениями второго и третьего порядка.¹¹⁷

Исследуя термодинамику сильно неравновесных систем, Пригожин пришел к выводу, что когда сложная система, эволюционируя, достигает точки бифуркации (состояния максимальной хаотичности), линейное, детерминистическое описание ее состояний (по принципу необходимости, на основании причинно-следственной связи) становится невозможным. Дальнейшее развитие событий имеет не один путь, а множество возможных. Характеристикой критического состояния выступает зона ветвления возможных посткритических состояний. В точке бифуркации состояние системы подобно неустойчивому положению шарика на выпуклой поверхности. Любой случайный фактор может сыграть роль причины смены состояния.

В общем случае существование неустойчивости И.Пригожин рассматривал как результат *флуктуации* (случайного отклонения параметров состояния от средних значений), которая сначала была локализована в малой части системы, а затем распространилась и привела к новому макроскопическому образованию. В неустойчивом состоянии любое малое воздействие может вывести систему из критического состояния, вынудив ее выбрать ветвь, по которой будет происходить дальнейшее ее развитие. При этом выход из критической ситуации – процесс, который характеризуется фундаментальной неопределенностью, так же как и бросание монеты. Предсказать с дальнейший путь эволюции системы принципиально невозможно. Но можно говорить о вероятностном прогнозе некоторого конечного пункта в нелинейном (скачкообразном) переходе системы от точки бифуркации к устойчивому состоянию. Закономерность такого перехода в эволюции неравновесной системы описывается с помощью понятия

¹¹⁷ Классический пример образования диссипативной макроскопической структуры – ячейки Бенара. Этот феномен был выявлен в 1900г. Фотография возникшей структуры, напоминающей пчелиные соты, была опубликована в статье Х.Бенара, который наблюдал ее в ртути, налитой в широкий плоский сосуд, подогреваемый снизу (типа сковороды). Слой ртути после того, как градиент температуры достиг некоторого критического значения, распадался на одинаковые шестигранные призмы с определенным соотношением между стороной и высотой. В центральной части такой призмы жидкость поднималась вверх, по граням – опускалась. По поверхности жидкость растекалась по краям, а в придонном слое – к центру. Эту устойчивую макроскопическую структуру, возникающую за критическим значением разницы температуры, назвали «ячейками Бенара». Другими примерами самоорганизующихся макроскопических структур выступают: турбулентности в движении газа или жидкости, химические реакции типа Белоусова - Жаботинского, переход лазера в режим генерации.

аттрактор (attrahere – лат. притягиваю, to attract - англ. притягивать), которое было введено в теории катастроф в качестве аналога равновесия.¹¹⁸

Наглядно процесс нелинейного перехода через точку бифуркации можно продемонстрировать на примере шарика, лежащего на вершине выпуклой поверхности (например, не горке), и находящегося в положении неустойчивого равновесия. Наличие достаточно большой потенциальной энергии неминуемо заставит шарик скатиться вниз. Если бы он был живым, он постарался бы адаптироваться в такой ситуации, меняя свои функции или внутреннюю структуру, чтобы удержать неустойчивое равновесие. В нашем случае его возможное поведение предполагает некоторое множество состояний на полусфере, которые, в конечном счете, завершатся движением вниз. Критическая ситуация для шарика связана с неустойчивостью. Разрешается ситуация обретением устойчивого равновесия внизу (минимум потенциальной энергии). Это состояние как бы притягивает все возможные траектории движения шарика. Аттрактор в нашем примере - множество траекторий движения шарика к конечному пункту (вниз). Образ аттрактора, который дает современная математика, - воронка, обращенная узким горлом к устойчивому состоянию, а широким – к зоне ветвления возможных путей выхода из критического состояния. Шарик может скатиться вниз не из одной точки, а из некоторого множества смежных точек.

Принципы, разработанные И.Пригожиным для анализа неравновесных химических процессов, были распространены на широкий класс явлений в физике, молекулярной биологии, а также в социологии и в анализе процессов эволюции.

Идея И.Пригожина о конструктивной роли необратимых процессов в физическом мире и биологическом легла в основание *общей теории самоорганизации*. Исследуя закономерность согласованных процессов в микроэлектронике, в частности переход лазера в режим генерации, Герман Хакен получил уравнения движения, которые имеют вид дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих упорядоченный колебательный процесс. Оказалось, что подобным уравнением можно описать и другие наблюдаемые случаи автоколебаний и согласованных процессов, независимо от природы происходящих событий. Общим оказывается выбор равновесных мод и исследование их устойчивости. Случайное событие вызывает

¹¹⁸ Простейший аттрактор можно наблюдать при затухающих колебаниях маятника на нити или скатывании шарика в ямку. Маятник останавливается в нижней точке, а шарик на дне ямки. Эти особые точки положения равновесия – аттракторы, они притягивают к себе все траектории движения маятника и шарика. Более интересные примеры аттракторов: орел парит в восходящем потоке, пинг-понговый шарик висит в вертикальной струе воздуха выдуваемого пылесосом, полотнище флага мерно колеблется на ровном ветру.

неустойчивость системы, а неустойчивость служит толчком для возникновения новых конфигураций (мод).

В предисловии к своей книге «Синергетика» Г.Хакен подчеркнул, что название новой дисциплины указывает не только на исследование совместного действия многих элементов системы, но и на то, что «для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин». Таким образом, синергетика как общая теория самоорганизации изначально имеет междисциплинарный статус в естествознании.

Распространение идей неравновесной термодинамики и эволюции систем от хаоса к упорядоченности в широкой междисциплинарной области исследований привело к оформлению новой познавательной стратегии, выделившей три основных принципа научного исследования: принцип сложности (системности), принцип эволюции (развития), принцип самоорганизации.

7.3 Методологические принципы синергетической парадигмы

В конце XXв. можно говорить о становлении *синергетической парадигмы* (pradeigma – греч. пример, образец), определяющей новую модель системного исследования и формального описания природных явлений, которая наряду с информационным и системным подходом открывает перспективу построения целостного знания о закономерностях эволюции сложных систем неорганической и органической природы.

Междисциплинарная методология на базе синергетики формируется как новый системный подход, выделяющий фундаментальность и всеобщность процессов самоорганизации в природе. Его основанием выступают представления, развитые в теории нелинейных динамических систем.

Самоорганизация отождествляется со способностью к разнообразному, сложному, но адекватному внешним воздействиям поведению, которое интерпретируется как скачкообразный переход системы из одного состояния в другое упорядоченное состояние. Особое значение придается *информационным взаимодействиям* в процессах самоорганизации.

Исторически обобщенный механизм организации в динамике сложных систем был выделен кибернетикой в связи с исследованием возможности создания эффективно действующих информационных систем, поддерживающих или заменяющих интеллектуальные действия человека.

Современную теорию самоорганизации (синергетику) отличает фундаментальная мировоззренческая интенция. Феномен самоорганизации в

конце 20в. трактуется широко. Одна из гипотез синергетического подхода в качестве универсального механизма самоорганизации рассматривает закономерность возникновения вихреобразной формы движения.¹¹⁹

Одна из главных особенностей нового системного, подхода в естествознании - признание самоорганизации в качестве всеобщего свойства материи и распространение принципа эволюции на все рассматриваемые явления. Эта установка сама по себе задает определенную исследовательскую программу в широком спектре наук о природе, а также о человеке и обществе.

В качестве основных мировоззренческих и методологических *принципов синергетической парадигмы* выступают: 1) принцип вероятного детерминизма; 2) признание универсальности согласованных процессов в природе; 3) признание универсального характера эволюции и адаптации как закономерного поведения сложной самоорганизующейся системы любой природы.

Ключевые понятия синергетической парадигмы: хаос, порядок, неустойчивость, нелинейность, открытость, флуктуация, бифуркация.

Описание эволюции сложной динамической системы и группы систем в синергетике опирается на представление о фазовом пространстве и математические методы факторного анализа. В отечественной науке разработкой теории самоорганизации на базе математического и компьютерного моделирования занимается школа академика А.А.Самарского и члена-корреспондента РАН С.П.Курдюмова.

Фазовое пространство - абстрактное пространство с числом измерений, равным числу переменных, характеризующих состояние системы. Например, пространство, определенное координатами и скоростями частиц системы, позволяет наглядно описать их степени свободы.

Элементарным объектом в синергетике выступает колеблющийся элемент (или циклический процесс) – *осциллятор*. Пример: маятник. Для линейного гармонического осциллятора, имеющего одну степень свободы (маятник на нити), размерность фазового пространства равна 2 (координата – x , скорость – v). Фазовое пространство такого маятника представляет собой плоскость. Картина эволюции системы представляется графически - как непрерывное изменение координаты и скорости. Точка изображающая состояние системы, движется по фазовой траектории, которая для линейного осциллятора (пример, маятник в виде шарика на нити) представляет собой

¹¹⁹ Климонтович Ю.Л., «Введение в физику открытых систем», М, 1998. Саниев К.Б. О возможном механизме самоорганизации материи // Философские исследования. М.2000. С.16-27.

эллипс. В случае затухания колебаний фазовые траектории при любых начальных условиях заканчиваются в точке, которая соответствует состоянию покоя в положении равновесия. Эта особая точка в фазовом пространстве как бы притягивает к себе со временем все фазовые траектории, поэтому получила название *аттрактора* (to attract - англ. притягивать). Другой вид аттракторов (помимо особой точки) представлен предельными циклами, которые указывают на некоторый установившийся ритмический режим, например, биение сердца.

Аттрактор выступает обобщением понятия равновесия и позволяет получить некий фазовый портрет системы. Например, маятник из-за трения замедляет колебания, затем останавливается. На фазовой диаграмме откладывают угол отклонения от первоначального равновесного состояния (вертикальное положение маятника на нити), по другой оси – скорость изменения этого угла отклонения. Получается фазовый портрет системы в виде точки, движущейся вокруг начала отсчета, которое в данном случае и представляет аттрактор системы. В более сложных движениях, например, маятника часов с грузом на цепи, груз играет роль элемента, подкачивающего энергию маятника, вследствие чего маятник не замедляет движения.

Свойства аттракторов задаются набором траекторий в фазовом пространстве в общем случае *n* переменных, зависящих от времени. В обычном аттракторе эти траектории просты, среди них есть замкнутые, называемые предельными циклами. Однако в случае возмущения системы и ее хаотического движения фазовые траектории перемешиваются, возникает область фазового пространства, заполненная запутанными траекториями. Аттрактор системы в этом случае похож на клубок траекторий из двух склеенных лент. Точка, характеризующая состояние системы, «бегает» по аттрактору хаотично, попадая то на одну, то на другую ленту. Такого рода *странные аттракторы* впервые описал метеоролог Лоренц в 1963г., моделируя задачи прогноза погоды. Теоретическое изучение странных аттракторов начинается в работах Д.Рюэля, Ф.Такенса, Л.П.Шильникова.

Переход системы в режим странного аттрактора означает, что в ней наблюдаются сложные непериодические колебания, которые очень чувствительны к незначительному изменению начальных параметров.¹²⁰ Две близкие траектории странного аттрактора со временем расходятся. Как бы

¹²⁰ Этот эффект получил название “эффекта бабочки” по аналогии с ситуацией из фантастического рассказа Р.Бредбери “И грязнул гром”, в котором описана виртуальная ситуация из будущего, где путешественник нечаянно задавил бабочку, а вернувшись в свое время обнаружил, что политическая ситуация в его историческом времени кардинально изменилась.

точно не измерялись начальные данные, поведение системы на больших временных интервалах спрогнозировать нельзя. Но математический (графический) портрет странного аттрактора определяющего хаотическое поведение системы, всегда занимает ограниченную область фазового пространства. Траектории хаотического движения не могут выйти за границу аттрактора. Таким образом, определение границ области хаоса позволяет дать вероятностную оценку поведения системы и в этой ситуации.

Свойство странных аттракторов к умножению траекторий в языке современной математики выражает термин *фрактальность*. Динамические объекты, проявляющие по мере увеличения все большее количество деталей (фракталы), начали изучать с появлением мощных компьютеров. Известно, что в природе нет идеальных форм наподобие окружности и т.п., ей свойственны ветвящиеся формы, например, коллоиды, отложения солей, клеточные популяции. В широком смысле фракталы выступают объектом изучения динамики образных форм. Этим термином обозначают структуру, состоящую из частей, которые в каком-то смысле подобны целому.¹²¹ В новой области геометрии - *фрактальной геометрии* (основатель – Бенуа Мандельброт), которая складывается в последние десятилетия века, разрабатываются компьютерные технологии, которые позволяет эффективно распознавать и хранить образную информацию.

Синергетическая парадигма утверждает новое представление о системе. Она понимается как открытая сложная, содержащая очень большое, иногда бесконечное (неисчислимое) множество элементов, находящихся в сложном взаимодействии друг с другом. Например, атомы в кристалле лазера, молекулы в химическом растворе, люди в обществе, нейроны мозга. Процессы в сверхсложной системе строятся как массовые кооперативные процессы. Главным свойством такой системы выступает способность к самоорганизации.

В то же время в синергетике утверждается *относительность простоты и сложности* системы, поскольку всякую систему одновременно можно рассмотреть на макроуровне – как целостность, описываемую достаточно просто немногими параметрами порядка, и на микроуровне – как сложное взаимодействие множества элементов. Эволюция системы анализируется в терминах порядка и хаоса.

Общая картина эволюционного процесса в синергетике предстает как смена условных состояний порядка и хаоса, которые соединены фазами перехода к хаосу (гибель структуры) и выхода из хаоса (самоорганизация). Из

¹²¹ Федор Е. Фракталы. М. 1991, с.19.

четырех состояний лишь одно состояние порядка стабильно, три другие, так или иначе, связаны с хаосом и относятся к становлению или кризису. Длительный кризис истощает адаптационные возможности системы, исчезает ее системная целостность и она погибает.

В основании универсального языка описания условных состояний порядка и хаоса лежат 7 основных принципов: два принципа (гомеостатичность, иерархичность) позволяют построить описание относительно устойчивого бытия системы, пять других принципов (нелинейность, неустойчивость, не замкнутость - открытость, динамическая иерархичность, наблюдаемость) позволяют построить содержательное и формальное описание ее становления и кризиса. Поэтому в современной литературе синергетику называют теорией порядка и хаоса.

Часть 6. Эволюция научной картины мира

1. Научная картина мира (общее понятие).

Общая картина мира в науке предстает в виде некоторой универсальной теоретической модели мироустройства, которая закрепляет онтологические представления о фундаментальных структурах на основании признанных за истину научных фактов.

Научная картина мира (далее НКМ) абстрагируется от религиозных, философских, мифологических, житейских представлений о мире, стремится представить мир и его законы независимо от сознания людей и духовных предпочтений. Все же она не свободна от мировоззренческих, религиозных, познавательных установок своей эпохи.

Научную картину мира как теоретическую модель характеризуют:

- натурализм (отрицание существования сверхъестественных сил),
- связь с физическими представлениями о природе материи и принципах взаимодействий,
- обоснованность;
- эмпирическая проверяемость (или возможность опытного опровержения);
- историчность (содержание НКМ постоянно обновляется).

Картина мира в науке не является непосредственным образом происходящего. Представление о мире в науке далеко не всегда совпадает наблюдаемыми в обыденной жизни явлениями. Например, в отношении движения Земли теоретическая картина прямо противоположна повседневному опыту человека. Суть научной картины мира составляют

положения, конкретизирующие принцип единства мира, а также общие базовые формы и структуры реальности, которые фиксируются небольшим набором категорий (традиционно такими категориями выступают: материя, пространство, время, движение).

Научная картина мира образует концептуальный уровень понимания мироустройства в его единстве и взаимосвязях, соединяющий естественнонаучный и мировоззренческий (философский) уровни знания. Смена картины мира предполагает коренную ломку базовых онтологических представлений об общих свойствах и законах природы, которая вызывает непонимание и эмоциональное сопротивление, сопровождается дискуссиями, напряжением и конфликтами в научном сообществе.

Новые картины мира выдвигаются как умозрительные гипотезы и могут существовать в науке параллельно со старой, признанной картиной мира довольно долго, пока не получат достаточное эмпирическое обоснование. Признание и утверждения новой картины мира ассоциируется с революционным переворотом в науке, который кардинально меняет стиль научного мышления, корректируя мировоззренческие и методологические границы научного познания.

Создание и обоснование картины мира – главная цель натурфилософии. Первая картина мира, выделяющая естественные основания единства мира, - *геоцентрическая система мира* - складывается в античной натурфилософии как система, имеющая полное обоснование: концептуальное (физика Аристотеля), теоретическое (математический расчет Птолемея), эмпирическое (наблюдаемые движения, которые фиксирует астрономия). Наука XVIIв., введя в исследование явлений природы экспериментальный метод, идеализированные объекты (геометрические модели), математический расчет и мысленный эксперимент, подготовила почву для перехода от натурфилософского взгляда на мир к научно-теоретическому. Первая научная в современном смысле механическая картина мира сменила натурфилософскую систему мира Аристотеля-Птолемея, которая была признанной картиной мира почти две тысячи лет.

Начиная с Галилея и Ньютона, фундаментальные основания для синтеза знания в общей научной картине мира давало развитие физических теорий. В конце XXв. фундаментальное значение в интеграции знания о мире приобрели нефизические принципы системности, самоорганизации, эволюции.

В развитии научного знания НКМ играет роль своеобразного неэмпирического критерия в процессе обоснования выдвигаемых проблем и

гипотез. Теоретические построения в естествознании проходят двойную проверку: на эмпирическую проверяемость фактами и на соответствие признанной научной картине мира, закрепляющей общий познавательный принцип анализа явлений.

Исторические периоды в развитии современной науки, различаются научной картиной мира.

1. Механическая картина (XVII – XIXв.), в основании которой лежит классическая механика Ньютона, соответствует периоду классической науки. Стиль научного мышления, определенный установками механической картины мира, - классический идеал научной рациональности.

2. Физическая картина мира, в эволюции которой прослеживаются два этапа: электродинамический и квантовый (XXв.), соответствует периоду неклассической науки.

3. Синтетическая картина мира (конец XXв.), в основании которой лежат принципы системности, самоорганизации, глобального эволюционизма, соответствует периоду постнеклассической науки.

2. Исторические этапы эволюции научной картины мира

Анализ истории современной науки показывает, что построение картины мира выступает главным познавательным стимулом развития математики и физики, начиная с научной революции XVIIв. Система классического естествознания возникает как математизированная натурфилософия, которая оперирует *абстракцией физической реальности*, фундаментальные характеристики которой - материя, пространство, время, движение, взаимодействие - раскрываются в контексте принципов единства мира и причинной обусловленности явлений. Развитие теоретических представлений о физической реальности выступает целью построения картины мира на протяжении всей истории науки. Механическая, затем физическая картина мира обеспечивает концептуально и методологически исследовательские научные программы эмпирического и теоретического уровня.

2.1 Механическая картина мира

История становления научной картины мира как абстрактно-теоретической модели мира в ее сущностных связях (т.е. не наблюдаемой непосредственно, а понимаемой) начинается с противостояния двух системы мира – геоцентрической и гелиоцентрической. Идея гелиоцентрического мироустройства была математически обоснована еще во времена поздней античности Аристархом, затем получила более веское обоснование в астрономических наблюдениях и математическом расчете Н.Коперника в

XVIIв. Эта идея была воспринята научным сообществом того времени как неочевидная и недоказуемая гипотеза, которая противоречила системе физики Аристотеля.

В XVIIв. в трудах Галилея, Декарта, Ньютона были разработаны основные теоретические принципы и формальный аппарат описания *принципиально наблюдаемых* взаимодействий. Известная фраза Галилея: «если факты не укладываются в теорию, тем хуже для фактов», - подчеркивала особенность теоретических построений, относящихся к идеализированным (мыслимым) объектам, не сводимым полностью к наблюдаемым в реальности предметам и процессам. Натурфилософия и небесная механика И.Ньютона давала концептуальное обоснование неочевидной гелиоцентрической системе мира. Окончательное оформление механическая научная картина мира (далее МКМ) получила в трудах П.Лапласа (XVIII в.).

МКМ опирается на два общих принципа: *атомизм* и *детерминизм*. Согласно атомистическому учению, материя имеет дискретную (прерывистую) структуру. В МКМ материя выступает преимущественно в виде *материальных (вещественных) тел*, имеющих атомарное строение. Главная механическая характеристика тела - *масса*, которая определяется как мера инерции тела. Для теоретического описания взаимодействий и движений тел используется понятие *материальной точки*, выступающее абстракцией физического тела. Точечным механическим эквивалентом любого тела выступает его центр тяжести. Естественным состоянием тела полагается его движение относительно других тел.

Движение рассматривается в МКМ как перемещение тел в пространстве, имеющем три измерения. Теоретическое описание движения строится на базе принципа инерции и принципа относительности. Основными параметрами математического описания движения выступают: координаты, время, скорость, ускорение. Движение тела заменяется движением его центра тяжести, к которому приложены силы.

Главной характеристикой *взаимодействия* в МКМ выступает совокупность (сумма) сил, которые могут передаваться мгновенно на большие расстояния независимо от среды. Взаимодействие тел теоретически описывается через параметры их состояния (координаты, время, массу, силу, энергию). Универсальными теоретическими принципами описания механических взаимодействий выступают:

принцип суперпозиции (согласно которому действие равно геометрической сумме приложенных сил) и

принцип дальнодействия (согласно которому действия могут передаваться в пустом пространстве со сколь угодно большой скоростью, т.е. мгновенно).

Движение и взаимодействие тел происходит в пространстве и времени, которые представляют собой две независимые друг от друга формы бытия. *Пространство* понимается двояко: 1) как абсолютное вместилище, пустота, где тела могут свободно перемещаться; 2) как реальное трехмерное измеряемое пространство (однородное и изотропное). Начальные координаты тела в некоторой точке такого пространства позволяют сделать точный математический расчет относительно его положения в других точках с течением времени. Все направления в пространстве равноправны и обратимы. *Время* характеризуется длительностью и необратимостью (текет в одну сторону). В математическом описании механических действий координаты и время выступают независимыми переменными.

Универсальный характер в МКМ имеют:

законы механики, позволяющих построить четкое математическое описание движения макроскопических тел и их взаимодействий,

законы сохранения энергии и импульса,

закон всемирного тяготения, на основании которого строится математическая и геометрическая модель движения космических тел в Солнечной системе.

Причинно-следственная связь событий имеет жесткую форму так называемого механистического (или лапласовского) детерминизма. Согласно этому принципу случайность не учитывается в мировой схеме взаимодействий, движения тел подчиняются с необходимостью законам механики, выступающим в качестве законов природы. Все состояния тел (прошлые настоящие, будущие) могут быть математически точно рассчитаны.

Механическая картина представляет мир наподобие гигантской заводной игрушки. Все тела взаимодействуют только механически через столкновение или мгновенное действие гравитационной силы. Возможно точное прогнозирование событий на основании расчета характеристик движения и взаимодействия, поскольку каждое тело определяется параметрами положения и состояния, а действующие на них силы складываются.

Большим достоинством МКМ было утверждение движения в качестве основного состояния материальных тел и разработка универсального математического аппарата описания взаимодействий. Вплоть до начала XX века МКМ оставалась господствующей концептуальной базой развития

естественнонаучных теорий. Однако XVIII и особенно XIX в. накопили проблемы, которые выходили за рамки описания, предложенные МКМ. Самые первые сомнения было связаны с неясной природой дальнодействия гравитационной силы. Исследование тепловых, электрических, магнитных явлений и попытки их теоретического описания на основе законов механики обнаружили ограниченность МКМ в понимании природы материи. Механические законы не давали ответа на вопросы о природе света, электромагнетизма, излучений разного рода, составлявших проблемное поле физики в XIXв. Природа света в МКМ объяснялась с помощью светоносного эфира. Однако постоянство скорости света, зафиксированное как эмпирический факт, противоречило классическому принципу относительности и закону сложения скоростей.

2.2 Эволюция физической картины мира в XX в

В системе классической механики базовые представления конкретизированы абстракцией материальной точки, системы материальных точек, силы, инерциальной системы отсчета, материального (вещественного) тела и его свойств. На рубеже XIX-XXвв. формируются новые представления о фундаментальных характеристиках физической реальности на базе теорий электромагнетизма. В середине XIX в. М.Фарадей, введя электрические и магнитные силовые линии в качестве схемы описания электромагнитных взаимодействий, выдвигает идею о единстве материи и силы. Он исходил из того, что силы не могут существовать отдельно от материи, поэтому линии силы (силовые линии) необходимо связать с особой субстанцией (в виде электромагнитного поля). На базе этой идеи развивается теория эфира (как светоносной и непрерывной механической среды), отождествляются понятия эфира и поля, в качестве универсального принципа взаимодействия вводится принцип близкодействия.

Трактовка эфира как непрерывной механической, заполняющей абсолютное однородное пространство среды и выступающей абсолютной системой отсчета для инерциальных систем, была опровергнута в опытах Майкельсона 1881 и 1887гг., а затем в ряде подобных экспериментов, проведенных уже в следующем веке.¹²² Опыты по обнаружению эфира положили начало становлению новой физической картины мира в начале XXв.

¹²² Идея эксперимента была предложена Джеймсом Клерком Максвеллом в 1875г. в статье «Эфир» для 9-го издания Британской Энциклопедии. Молодой офицер военно-морского флота США Альберт Абрахам Майкельсон провел такой эксперимент с целью обнаружения эфирного ветра, получив отрицательный

Электродинамическая картина мира

Выделение электромагнитного поля как вида материи наряду с вещественными макроскопическими телами привело к изменению представлений не только о структуре материи, но также о пространстве, времени и принципах взаимодействия. В оформленшейся в 20-е гг. *электродинамической картине мира* онтологический принцип единства мира раскрывается через взаимосвязь Пространства - Времени - Материи.

Теоретическое основание *электродинамической картины мира* составили: электродинамика Максвелла, электромагнитная теория строения атома Э.Резерфорда (1911), специальная теория относительности А.Эйнштейна (1905), теория фотоэффекта, объясняющая излучение света на основании понятия *квант* - энергетической порции излучения, пропорциональной определенной длине волны.

В новой картине мира характеристика материи раскрывается через понятие *поле*. В отличие от дискретного вещества, *поле* как вид материи не обладает массой покоя и характеризуется непрерывностью. Спектр длин волн электромагнитного поля охватывает практически все наблюдаемые излучения, поэтому его характеристики принимаются за фундаментальные параметры материи. Наряду с полем в качестве исходной формы материи признаются: вещество и элементарные частицы - электрон, протон, нейtron (открыт в 1932г. английским физиком Дж.Чэдвиком).

В *электродинамической картине мира* универсальный характер в описании мировых событий имеют: *релятивистские законы движения*, *законы релятивистской динамики*, *закон эквивалентности массы и энергии*. Универсальным принципом взаимодействия выступает *близкодействие*: любые взаимодействия передаются через поле (колебания поля, волны, флуктуации). Скорость распространения действия имеет предел, равный скорости распространения света.

Наряду с электромагнитными взаимодействиями признается фундаментальность гравитационных взаимодействий. Концептуальной

результат. Более точный опыт, проведенный повторно Майкельсоном совместно с Морли в 1887г., дал тот же результат. В 1932г. американские физики Рой Дж.Кеннеди и Эдвард М.Торндайк повторили опыт Майкельсона-Морли, усовершенствовав прибор таким образом, чтобы обнаружить разницу во времени прохождения света в двух направлениях и подтвердить новую теорию Фитцджеральда - Лоренца о сокращении движущегося предмета и замедлении времени под действием эфирного ветра. Согласно теории сокращения эфирный ветер давит на движущийся предмет, заставляя его сокращаться в размерах в направлении движения. Длина предмета в состоянии покоя будет больше на некоторую величину с учетом отношения v^2/c^2 , а время меньше. Наиболее точные опыты были выполнены в 1960 Чарльзом Таунсом (Колумбийский университет) с использованием мазера («атомных часов», основанных на колебании молекул). Никакого следа эфирного ветра не было обнаружено. См.: М. Гарднер. Теория относительности для миллионов. М.: URSS, 2010.

основой в описании единства взаимодействий выступает общая теория относительности А.Эйнштейна, в которой гравитационные взаимодействия сводятся к полевому принципу. Это была не первая попытка создания единой теории поля. В 1918-1921гг. теории единого поля на базе четырехмерных и пятимерных геометрий предложили Вейль, Калуца, Эддингтон, пытаясь найти адекватную математическую форму обобщенного описания электромагнитного и гравитационного полей. Эйнштейн продолжил эту математическую программу, развивая идею геометризации физического взаимодействия. Геометризация гравитации стала одним из принципов общей теории относительности. Согласно Эйнштейну, движение в поле тяготения не является результатом действия гравитационных сил, а представляет собой движение по инерции в искривленном неевклидовом пространстве. Кривизна пространства накладывает некоторое ограничение на самодвижение тел (понимаемое классической наукой как гравитация).¹²³

Новая картина мира отличается реляционной трактовкой пространства и времени (согласно которой пространство и время взаимосвязаны, относительны). Все события происходят в мировом четырехмерном пространственно-временном континууме. В космологии утверждается неразрывная взаимосвязь между пространством, временем и центром тяготения. Геометрия пространства-времени определяет мировые линии движения и зависит от величины гравитационных масс. Поэтому возможны пространства разной кривизны.

Проблемы электродинамической картины мира были связаны с объяснением строения атома. Выяснилось, что электромагнитных сил недостаточно для соединения и удержания вместе элементов ядра. Проблема строения материи вылилась в исследование элементарных частиц, которое привело к открытию микромира. Исследование поведения микрообъекта как элементарной частицы привело к представлению о двойственности ее природы.

Квантово-механическая картина мира складывается в 30-х годах XXв. Формирование новых обобщенных представлений о структуре материи вызвало открытие античастиц (П.Дирак - 1928, 1932) и нестабильных

¹²³ Мамчур Е.А. Эйнштейн и современная эпистемология // Эйнштейн и перспективы развития науки. М., 2007. С.36-38. Эйнштейн, отмечает Е.А.Мамчур, расширил понятие «естественного движения», включив в него то, что ранее трактовалось как ускоренное движение под действием сил гравитации. В Галилей-Ньютоновской физике равномерное и прямолинейное (инерциальное) движение тел в евклидовом пространстве не нуждалось в силе, не требовало для своего объяснения апелляции к причинам. В физике Аристотеля естественным было движение к центру Земли (свободное падение). Распространение геометрического подхода на всю физику, по мысли Эйнштейна, позволило бы истолковать как «естественные» и, следовательно, беспричинные все состояния движения. С.38.

элементов ядра с очень коротким сроком жизни – мезонов (Юкава – 1935). Теоретическим основанием новой физической картины мира, помимо квантовой механики (В.Гейзенберг - 1925),¹²⁴ выступили: квантово-механическая теория строения атома Н.Бора (1913), протонно-нейтронная теория строения атомного ядра (В.Гейзенберг, Д.Иваненко, И.Тамм - 1932).

В квантово-механической картине мира соединяются две крайние позиции во взгляде на природу материи: атомизм, утверждающий прерывность (дискретность) материи и полевая физика, утверждающая непрерывность (континуальность) материи. Ключевым понятием выступает *квант* – порция энергии.

Физическая реальность в квантово-механической картине предстает в виде резко разграниченных уровней макро- и микромира, которые различаются величиной скоростей, характером взаимодействий и описывающих их законов. Микроуровень материи характеризуется взаимным превращением элементарных частиц и излучений. Каждая элементарная частица имеет определенную длину волны, характеризуется непрерывностью (в виде волновой функции) и дискретностью (определенным размером).

Французский физик-теоретик Луи де Бройль показал, что при значительной массе частицы корпускулярные свойства преобладают. В этом случае ее физические свойства и характер движения соответствуют классической характеристике материальной точки. У субатомных частиц преобладают волновые свойства. С каждой движущейся микрочастицей он связал волну определенной длины. Размеры всех элементарных частиц сравнимы с длинами волн де Броиля, указывающими на порционное излучение энергии при взаимодействиях.

Теоретическое описание поведения элементарных частиц строится в соответствии с *законами волновой квантовой механики*, где фундаментальным параметром состояния выступает *волновая функция*. Движение микрочастиц кардинально отличается от движения макрообъектов, которое можно точно описать законами классической механики, зная скорости, координаты, импульсы. У элементарных частиц эти параметры неопределены.

Язык описания микромира в квантово-механической картине определяется представлением о корпускулярно-волновом дуализме микрочастицы и принципом неопределенности (В.Гейзенберг), согласно

¹²⁴ Первая формулировка квантовой механики в статье Вернера Гейзенberга (29 июля 1925г.) считается днем рождения нерелятивистской квантовой механики. Ей предшествовала старая квантовая теория, днем рождения которой считают 14 декабря 1900г. (доклад Макса Планка на заседании Немецкого физического общества, в котором он ввел постоянную \hbar).

которому измерение (прибор) нарушает объективное течение событий, поэтому наблюдается разная ипостась элементарной микрочастицы.

Принцип причинности раскрывается через представление о фундаментальных физических взаимодействиях: гравитационных, электромагнитных, сильных, слабых. Два последних типа наблюдаются только в ядерных взаимодействиях. Под *сильным взаимодействием* понимают сцепление нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре атома. *Слабые взаимодействия* распространяются в радиусе 10^{-18} м (что примерно в 1000 раз меньше размера ядра), их интенсивность слабее сильного и электромагнитного взаимодействия, но гораздо сильнее гравитационного. Первая теория слабого взаимодействия была разработана Энрико Ферми 1930-х годах.¹²⁵

Классификация обнаруженных микрочастиц ведется по типу взаимодействия, характерному для данной частицы (к концу 90-х гг. количество элементарных частиц и античастиц приближается к 400). Частицы и античастицы, сравнимые по своим параметрам с элементами ядра – протонами и нейtronами, были названы субатомными (доатомными) частицами. Подавляющее большинство субатомных частиц относится к *адронам* – тяжелым микрочастицам, вступающим в сильные взаимодействия. Их масса и размер сравнимы с массой и размером протона ($m \approx 1,6 \cdot 10^{-24}$ г; $r \approx 10^{-23}$ см). Группу слабо взаимодействующих частиц составляют *лептоны* – легкие микрочастицы, сравнимые по массе с электроном ($0,9 \cdot 10^{-27}$ г). Слабое взаимодействие позволяет микрочастицам обмениваться энергией, электрическим зарядом и другими параметрами.

Квантовая механика дает теоретическое описание любого микрообъекта как некоторого статистического ансамбля. Волновое уравнение квантовой механики определяет лишь вероятность определенного положения частицы в каждый момент времени. Приоритет в физическом объяснении получает принцип *статистической закономерности*, который выражается на языке теории вероятностей. *Неопределенность* рассматривается в качестве фундаментальной характеристики физической реальности на микромире.

В квантово-механической картине мира утверждается *принцип дополнительности*, согласно которому адекватное описание микроявлений можно построить только как квантово-механическое, представляющее две взаимодополняющие фундаментальные теоретические модели микрообъекта (динамическую и волновую) с определенными ограничениями.

¹²⁵ Л.Б Окунь. Слабое взаимодействие // [Физическая энциклопедия](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/3700.html).
http://www.femto.com.ua/articles/part_2/3700.html

Следствием принципов дополнительности (Н.Бор) и неопределенности (В.Гейзенберг) стало изменение классического представления о характере закона, а также сомнение в объективности физического описания. Поскольку вмешательство исследователя влияет на исследуемую ситуацию, один и тот же опыт при повторении дает разные результаты. Позиция исследователя играет решающую роль в описании физического явления. Теоретическая картина явления природы становится неопределенной.

Одна из проблем квантово-механической картины мира связана с физической интерпретацией волновой функции, которая имеет значение основного параметра квантового поля и элементарной частицы. Сформулированное австрийским физиком Эрвином Шредингером в 1926г. *волновое уравнение квантовой механики* представляет собой особую запись закона сохранения полной энергии для корпушки, но операторы дифференцирования по времени и по координатам применяются не к материальной точке, а к волновой функции. Шредингер стремился показать, что дискретное строение материи производно от ее волновой (непрерывной) структуры. Однако физический смысл волновой функции, которая выступает дополнительной (по отношению к импульсу) характеристикой в квантовом описании поведения микрочастиц, до конца не ясен.

Квантово-полевая картина мира складывается к концу XXв. на базе развития представления о *квантовом поле*, которое, с одной стороны, непрерывно (не имеет четкой пространственной локализации), с другой, - дискретно (характеризуется квантовыми уровнями энергии). Базовой теорией выступает квантовая теория поля - основной аппарат физики элементарных частиц, раскрывающий природу их взаимодействия и взаимопревращения. С точки зрения современной квантовой теории *поле* - физическая система с бесконечным числом степеней свободы, которая может проявляться в виде физического вакуума, электромагнитного поля, элементарных частиц и античастиц.

Новый уровень физической реальности представлен *физическими вакуумом*, с которым связывается низшее энергетическое состояние квантованного поля. Состояние физического вакуума характеризуется флуктуациями, в результате которых может происходить рождение виртуальных частиц. В возбужденном, неустойчивом состоянии физического вакуума такие частицы превращаются в реальные элементарные частицы, античастицы и излучение. Полагается, что квантовое поле физического

вакуума содержит волновые свертки электронов и позитронов с нулевыми значениями массы, заряда и спина. Главной характеристикой элементарной частицы выступает ее энергия, пропорциональная длине волны ($E = h\nu$). Поэтому в квантово-полевой картине мира *элементарная частица суть квант поля – единичная волна.*

Принцип структурного единства мира в квантово-полевой картине раскрывается представлением о лептонно-кварковом строении материи (Стандартная Модель элементарных частиц). *Кварки* - бесструктурный элемент, фиксируемый на уровне сильных ядерных взаимодействий. Косвенно экспериментальным путем обнаружены шесть типов кварков: u, d, s, c, b, t. В свободном состоянии кварки не наблюдались. 12 фундаментальных микрочастиц: 6 кварков (u,d,c,s,t,b) и 6 антикварков, - объясняют почти все многообразие элементарных частиц, за исключением легких частиц – лептонов, которые оказываются бесструктурным (неразложимым) элементом на уровне слабых взаимодействий. Лептоны и антителтоны (электроны, нейтрино и их античастицы) не выводятся из кварков и существуют параллельно.

В квантово-полевой картине мира утверждается *активность материи* на уровне взаимных превращений элементарных частиц и состояний квантовых полей. В предшествующих теоретических моделях мира (механической и электродинамической) материя сводилась к веществу с неизменным строением, неизменной массой тела или распространению электромагнитного поля. Происхождение материи, ее эволюция не рассматривались. В квантово-полевой картине мира идея всеобщей взаимосвязи явлений конкретизируется энергетической связью элементарной частицы с окружающими ее квантовыми полями. В представлении о флюктуациях квантовых полей, взаимных превращений прачастиц и излучений просматривается *идея эволюции* материального единства мира. Утверждается взаимосвязь разных уровней физических явлений: микромира элементарных частиц, квантовых полей и излучений, макромира визуально наблюдаемых физических явлений, мегамира, определенного космическими масштабами происходящих явлений. Однако проблему составляет само становление и взаимосвязь этих уровней физических явлений. Интерпретация квантовой механики и возможность сведения всех феноменов (и феномена жизни) к физическому описанию

(принцип физической редукции) – одна из важнейших вопросов физики в начале XXIв.¹²⁶

Проблемы квантово-полевой картины мира связаны с построением единой теории физических взаимодействий. В настоящее время построена и подтверждена единая теория электрослабых взаимодействий (С.Вайнберг, А.Салам, Ш.Глэшоу). Большую роль в создании единой теории электрослабых взаимодействий сыграл принцип симметрии. Ш.Глэшоу и Х.Джорджи (1974) сделали попытку объединения электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий (Великое объединение). В отношении гравитационных взаимодействий высказано предположение о существовании элементарной частицы - *гравитона*.

Проблему в построении единой теории составляет объединение трех фундаментальных концепций современной физики:

- концепции о калибровочной природе взаимодействий, в основании которой лежит представление о фундаментальных симметриях,
- концепции о лептонно-кварковом строении вещества,
- концепции спонтанного нарушения симметрии физического вакуума.

Концепция спонтанного нарушения симметрии физического вакуума опирается на идею асимметричности вакуума, которая связывается с неустойчивостью, порождающей новые образования в виде полей и элементарных частиц. Развитие представлений о *физическом вакууме*, который в квантовой теории поля определяется как энергетическое состояние квантованного поля, энергия которого равна нулю только в среднем, привело к выявлению предполагаемых новых физических объектов. Хиггс выдвинул гипотезу о спонтанном нарушении симметрии вакуума и существовании вследствие этого вакуумного конденсата. Коллективное возбуждение Хиггсового конденсата порождает особые кванты (Хиггсовые бозоны), экспериментальное обнаружение которых составляет одну из задач физики элементарных частиц.¹²⁷

Проблемы Стандартной Модели элементарных частиц связаны с исследованием кварк–глюонного конденсата, конфайнмента (пленения – англ.) кварков, выяснением природы поколений известных частиц, а также

¹²⁶ Гинзбург В.Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века? // Гинзбург В.Л. О науке, о себе и о других: статьи и выступления 3-е изд., дополненное. М.: Физматлит, 2003.

¹²⁷ Латыпов Н.Н., Бейлин В.А., Верешков Г.М. Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. М, 2001

причины сильного различия масс элементарных частиц и выделенного статуса нейтрино.¹²⁸

На данный момент фундаментальная структура материи на уровне микромира раскрывается через три составляющие: *фермионы* – частицы вещества со спином $\frac{1}{2}$ (сводимые к бесструктурным кваркам и лептонам); *векторные бозоны* – частицы с целым спином (кванты полей); *скалярные Хиггсовы бозоны* – частицы с нулевым спином (ассоциируются с физическим вакуумом, который рассматривается как коллективное возбуждение скалярных бозонов). Выделены константы связи сильного, слабого, электромагнитного, гравитационного взаимодействий. Предполагается, что установленное соотношение этих констант характеризует настоящую эпоху развития Вселенной, но возможно существовала эпоха, когда оно было иным.

Концепция о калибровочной природе взаимодействий, развивающаяся в современной физике, опирается на принцип локальной инвариантности, выделенный Эйнштейном в общей теории относительности. Согласно ОТО инвариантность физических законов достигается только относительно локальных изменений масштаба (калибровочных преобразований).

Первоначальное значение термина «калибровка» - изменение масштаба. В теории Эйнштейна однородность пространства (евклидово пространство) существует только локально. В глобальном плане должна существовать возможность изменения масштаба при переходе от одной точки пространства к другой, что означает кривизну траектории движения, отклонение ее от прямой линии. Роль гравитационного поля состоит в компенсации эффектов, связанных с изменением масштаба (т.е. вызванных калибровкой расстояний от точки к точке).

Калибровочный принцип рассматривается как новый подход к природе физических взаимодействий, который позволяет не постулировать форму взаимодействия, а выводить ее как результат требования инвариантности относительно групп определенных локальных преобразований, как способы, которыми в природе должно компенсироваться локальное калибровочное преобразование.¹²⁹ В основе этого подхода лежит представление о фундаментальной роли симметрии. В общем смысле симметрия — неизменность при каких-либо преобразованиях.

¹²⁸ Есть экспериментальные данные, что нейтрино обладает малой массой (1~10 эВ), что в 10 тыс. раз меньше m_e и в 10 млрд. раз меньше самого тяжелого кварка. Там же.

¹²⁹ Концепции современного естествознания. Под ред. профессора С.И. Самыгина. Ростов н/Д: «Феникс», 2003. С.222-227

Принцип симметрии выделяет особенности поведения систем при различных преобразованиях. *Принцип инвариантности* связан с выделением из всей совокупности преобразований таких, которые оставляют неизменными некоторые функции, соответствующие рассматриваемым системам.

Слово *симметрия* (*symmetria*) имеет греческое происхождение и означает соразмерность. Научное определение симметрии принадлежит немецкому математику Герману Вейлю (1885-1955): под симметрией следует понимать неизменность (инвариантность) какого-либо объекта при преобразованиях определенного рода.¹³⁰ Можно сказать, что *симметрия есть совокупность инвариантных свойств объекта*. Например, кристалл может совмещаться с самим собой при определенных поворотах, отражениях, смещениях. Можно говорить об инвариантности функции, уравнения, оператора при тех или иных преобразованиях системы координат. Это в свою очередь позволяет применять категорию симметрии к законам физики.¹³¹

Например, закон всемирного тяготения гласит, что сила взаимного притяжения двух тел пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Следовательно, сила притяжения не зависит от положения этой пары в пространстве, а только от расстояния между телами. Это означает, что данный закон инвариантен относительно переноса или вращения этой пары тел в целом (или, с математической точки зрения, относительно переноса или вращения системы координат), что обеспечивается однородностью и изотропностью пространства. Такая переносная (трансляционная) симметрия является разновидностью пространственной симметрии. Менее очевидна инвариантность физических законов при переходе от одной системы отсчета к другой, движущейся относительно первой прямолинейно и равномерно. Однако эксперименты показывают, что невозможно установить, которая из этих систем отсчета покойится, а которая движется. Этот факт лег в основу специальной теории относительности, согласно которой физические законы должны быть инвариантны относительно преобразований Лоренца. Последние включают специальные преобразования не только координат, но и времени. Эту разновидность симметрии физических законов также можно отнести к разряду пространственно-временных, геометрических (имея в виду четырехмерную геометрию Минковского). В дальнейшем были открыты

¹³⁰ Вейль Г. Симметрия. М.: Наука, 1968. (М.: Едиториал УРСС, 2003. -194с.)

¹³¹ Черепанов В.И. Симметрия и принципы инвариантности в физике // <http://articles.excelion.ru/science/fizika/16065052.html>. Э.Вигнер. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии. М.: Едиториал УРСС, 2002. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии: Философские и естественнонаучные аспекты / Изд.2. – М.: КомКнига, 2006. – 232 с.

негеометрические (динамические) виды симметрий: перестановочная, калибровочная, унитарная.

Негеометрическая, *перестановочная симметрия* связана с инвариантностью уравнения Шредингера относительно перестановок одинаковых частиц. Швейцарский физик-теоретик Вольфганг Паули (1900-1958) установил связь перестановочной симметрии со спином частиц (частицы с целым спином - бозоны, а с полуцелым – фермионы) и показал, что фермионы должны подчиняться принципу запрета: два фермиона не могут находиться в одном и том же состоянии. Принцип Паули - ключ к объяснению периодического закона Д.И.Менделеева. Если бы не выполнялся принцип Паули, то все электроны любого атома перешли бы в низшее по энергии 1s-состояние, что привело бы к потере того разнообразия химических свойств атомов, которое наблюдается в природе.

Калибровочная симметрия - общее название класса внутренней симметрии уравнений теории поля (симметрий, связанных со свойствами элементарных частиц, а не со свойствами пространства-времени). В физике четырем типам фундаментальных взаимодействий (сильному, электромагнитному, слабому, гравитационному) соответствует четыре класса элементарных частиц. Все известные физические взаимодействия (4 вида) имеют одну калибровочную природу. Каждому взаимодействию соответствует группа симметрий и законы сохранения, выступающие проявлением этих симметрий. Теорема Нетер показывает связь между симметрией и инвариантностью в преобразованиях.¹³²

Инвариантный подход в физике связан с принципом наименьшего действия. Минимизация действия в классической механике описывается уравнениями Лагранжа – Эйлера, которые показывают связь этого принципа с законами Ньютона. В конце XIXв. было показано, что уравнения Лагранжа – Эйлера согласуются с уравнениями Максвелла, описывающими электромагнитные взаимодействия, а функция Лагранжа остается неизменной

¹³² Инвариантный принцип построения теории относительности привлек внимание математиков, развивавших идею систематического применения групп симметрии к изучению конкретных геометрических объектов. В 1918г. Эмми Нетер доказала теорему, из которой следует, что если некоторая система инварианта относительно некоторого глобального преобразования, то для нее существует определенная сохраняющая величина, выявив особую роль принципов симметрии в построении физической теории. Этому предшествовало развитие в математике теоретико-инвариантного подхода, связывающего геометрию с теорией групп абстрактной алгебры («Эрлангенская программа» немецкого математика Феликса Клейна). Все разнообразие геометрических систем понималось с единой теоретико-инвариантной точки зрения. Следствием союза математики и физики стало развитие языка лагранжианов - аппарата математического анализа уравнения движения, исходя из принципа наименьшего действия. См.: Концепции современного естествознания. Под ред.профессора С.И.Самыгина. Ростов н/Д: «Феникс», 2003, С.223

(инвариантной) в преобразованиях движений в абстрактных пространствах большого числа измерений, следствием чего выступают законы сохранения.¹³³

Принципы симметрии не только помогают классификации квантовых состояний, установлению законов сохранения и правил запрета, но и обладают эвристической ценностью. С их помощью создаются новые теории, с одной стороны, описывающие явления микромира, а с другой - имеющие важные следствия для космологии. Развитие квантовой теории поля происходит по линии повышения симметрии, на которую опирается теория. Математической базой выступает теория «групп Ли». Группа симметрии в теории электромагнитного поля является подгруппой группы симметрии электрослабых взаимодействий, которая в свою очередь является подгруппой группы симметрии Великого объединения.¹³⁴

Стремление к Великому объединению (3 видов фундаментальных взаимодействий: сильное, слабое и электромагнитное) требует дополнительных симметрий. *Суперсимметрия* предлагается как средство достижения Великого объединения. Основная идея суперсимметрии – некий способ (правила) объединения в пары фермионов и бозонов. Обычные группы симметрий «вращают» наборы бозонов среди них самим и фермионов также среди них самих, т.е. не «поворачивают» бозоны в фермионы или наоборот. Главная трудность в этой концепции связана с требованием существования для каждой элементарной частицы супер搭档ера со спином, отличающимся от спина исходной частицы на $\frac{1}{2} \hbar$. Должен быть суперэлектрон со спином 0, суперкварк и т.д. Пока ни один из супер搭档еров не обнаружен. Объяснение состоит в том, что из-за наличия некоего механизма «нарушения суперсимметрии» (природа неизвестна) предполагаемые супер搭档еры должны иметь на много большую массу, чем соответствующие им частицы.¹³⁵

Различие внешних (геометрических) и внутренних симметрий составляет серьезную проблему в физике. На современном этапе обсуждается возможность сведения всех внутренних симметрий к геометрическим

¹³³ Лагранжианы позволяют описывать новые поля, добавляя все необходимые члены взаимодействия. В современной физике новая теория неизменно представляется в виде некоторого лагранжева функционала. Трудности заключаются в том, что выбор лагранжиана часто оказывается неоднозначным: разные лагранжианы приводят к одним и тем же уравнениям поля. Физический смысл лагранжианов не всегда очевиден. Пенроуз Р., 2007. С.415-419

¹³⁴Черепанов В.И. Симметрия и принципы инвариантности в физике // <http://articles.excelion.ru/science/fizika/16065052.html>

¹³⁵ Идея суперсимметрии предполагает одинаковую величину констант связи, предположительно в тот момент эволюции Вселенной, когда ее температура имела значение 10^{28}K . В обычных условиях величины сил, создаваемых сильным и слабым взаимодействием, различаются примерно в 10^{13} раз, константы связи не совпадают. Если ввести суперсимметрию, картина чудесным образом меняется. Однако между температурой 10^{28}K и 10^{14}K , доступной современным ускорителям существует огромная энергетическая щель. Пенроуз Р., 2007. С.729

пространственно-временным симметриям. Поля (и частицы) рассматриваются как определенные геометрические объекты, которые адекватно описываются математической теорией расслоенных пространств. *Слои* определяются внутренними симметриями, связанными с обычным базовым Пространством-Временем. В искривленных базовых пространствах с каждой точкой сопоставляются слои, связанные друг с другом определенными отношениями («связностями»). Внутренняя симметрия, которая является группой симметрий слоя, порождает калибровочное поле (соотносимое с квантовыми объектами - бозонами).

Обобщенное описание физической реальности конкретизируется в представлении об исходном уровне материи в виде квантового поля с определенными энергетическими состояниями. Число и характер элементарных частиц и, в конечном счете, все многообразие дискретной материальной макросреды, которую мы наблюдаем, определяются состояниями квантового поля, трактуемого как расслоенное пространство. Калибровочные поля (например, электромагнитное поле, квант поля - фотон) описываются связностью расслоенных пространств. Поля, характерные для частиц-фермионов (например, электронов) описываются сечениями расслоенного пространства.¹³⁶

Определенные перспективы единой теории взаимодействий связываются с *теорией струн*, в основе которой лежит математическая идея Калуца - Клейна о внутренних размерностях, дополняющих базовое 4-мерное пространство-время до размерностей 26, 10. Образная аналогия - шланг, который в обычном мире является одномерным, но имеет внутренние размеры. Теория струн хорошо описывает процессы в физике адронов, сводя обменные процессы и обменные частицы к единой топологии (если рассматривать адроны не как точечные частицы, а как струны). Различные семейства элементарных частиц могут быть включены в эту картину как различные моды колебаний струн. В 1984г. Майкл Грин и Джон Шварц предложили схему, вводившую в теорию струн суперсимметрию (суперструну, вместо струны), что сократило размерность пространство-времени до 10, устранило «тахионную проблему» (сверхсветовое распространение) и позволило рассматривать новые струны «гравитационного масштаба». Предполагаемая безмассовая частица со спином 2, возникающая как мода колебаний струн, отождествляется с гравитацией.

¹³⁶ Латыпов Н.Н., Бейлин В.А., Верешков Г.М. Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. М, 2001.

Теория струн предполагает соединить все элементарные частицы в единую схему. Возникающие при этом группы симметрии оказываются более обширными, чем в стандартной модели. Серьезную проблему составляет неоднозначность теории струн: существует пять совершенно разных возможных схем связи, устанавливаемой суперсимметрией между бозонными и фермионными модами колебаний струны. Соответственно имеется пять вариантов теории струн.¹³⁷

2.3 Идея эволюции в физической картине мира

В первой половине XXв. создаются новые эволюционные космологические модели, которые опираются на астрофизические исследования и расчеты в соответствии с общей теорией относительности. Космические объекты представляются в эволюционной космологии в качестве исторических образований. Фактами, подтверждающими эволюцию Вселенной, выступают:

- расширение Вселенной (в соответствии с обнаруженным красным смещением в спектрах удаленных космических объектов, открытых Э.П. Хабблом);
- преобладание вещества в структуре Вселенной (асимметрия между веществом и антивеществом);
- однородность и изотропность светящейся материи в масштабе расстояний 100 мегапарсек;
- существование реликтового фонового излучения;
- существование галактик и галактических скоплений, имеющих разный возраст; ячеистая структура Вселенной на метагалактическом уровне.

Попытки увязать идею эволюции и сохранение физического мира, для которого характерны фундаментальные мировые константы, привели к представлению о «тонкой подстройке Вселенной» и формулированию нефизического объясняющего принципа, декларирующего наличие взаимосвязи между параметрами Вселенной и существованием в ней разума, который получил название *антропного принципа*.

Термин «тонкая подстройка Вселенной» подчеркивает фундаментальное сохраняющее значение физических постоянных, калибровочных симметрий и определенной асимметрии физического вакуума (в качестве исходного состояния праматерии Вселенной). Содержание концепции тонкой подстройки

¹³⁷ Пенроуз Р., 2007. С.757

определяется положением, что универсальные физические константы однозначно определяют (предопределяют) структуру нашей Вселенной.¹³⁸

Основанием *концепции тонкой подстройки* послужила численная взаимосвязь параметров микромира (постоянной Планка, заряда электрона, размера нуклона) и глобальных характеристик Вселенной (ее массы, размера, времени существования). Анализ возможных изменений основных физических параметров показал, что даже незначительное изменения мировых физических констант, приводит к невозможности существования нашей Вселенной в наблюдаемой форме и не совместимо с появлением в ней жизни.

В 30-х гг. Пол Дирак обратил внимание на взаимосвязь небольшого конечного числа фундаментальных постоянных и их производных, определяющих структурное основание и взаимодействия наблюдаемой Вселенной, а также на число 10^{40} , которым выражаются разные константы и их соотношения. Это число соответствует современному возрасту Вселенной в ядерных единицах, установленному Э.П.Хабблом. Число звезд во Вселенной в качестве составной части включает число 10^{40} . Согласно современным расчетам, оно равно 10^{60} , или $(10^{40})^{3/2}$. В среде физиков возникла идея о существовании некоторого фундаментального принципа, в соответствии с которым осуществляется тонкая подстройка Вселенной (А.Эдингтон, П.Дирак, Дж.Барроу, Р.Дикке, Б.Картер). Взаимосвязь между параметрами Вселенной и появлением в ней разума была выражена в формулировании антропного принципа космологии.¹³⁹

Слабый антропный принцип, сформулированный Р.Дикке, утверждал: имеющиеся во Вселенной физические условия не противоречат существованию человека. Жизнь во Вселенной не может возникнуть раньше, чем проэволюционирует хотя бы одно поколение звезд и по Галактике рассеется вещество, содержащее углерод, кислород и другие химические элементы, лежащие в основе органической и живой материи. После образования обычной звезды второго поколения начинается звездное время,

¹³⁸ Например, гравитационная постоянная G (в системе СИ: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н}\cdot\text{м}^2 / \text{кг}^2$) очень мала: между двумя атомами гравитационное взаимодействие в 40 раз слабее электромагнитного. Но более сильная гравитация коренным образом меняет структуру и геометрию Вселенной. Еще одна замечательная константа – число протонов в так называемом радиусе Хаббла: $N = 10^{80} = (10^{40})^2$. Оно соответствует плотности вещества, от которой зависит геометрия Вселенной. Если бы число N было больше или меньше указанной величины, то структура Вселенной была совсем иной. В соответствии с расчетами современной физики, при большем N (например, равном 10^{86}) расширение Вселенной длилось бы меньшее время (всего 10^8 лет) и к настоящему времени наша Вселенная давно бы под действием сил гравитации катастрофически сжалась до малых размеров. При числе $N < 10^{80}$ (например, 10^{77}) Вселенная расширялась бы более быстрыми темпами, чем сейчас. Процесс образования галактик также шел бы другим темпом.

¹³⁹ Девис П. Случайная Вселенная. М., 1985; Картер Б. Совпадение больших чисел и антропологический принцип в космологии // Космология: теории и наблюдения. М. 1978; Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М., 1990.

когда возможно зарождение жизни. Этот момент эволюции Вселенной можно вычислить. Звездное время определяется произведением двух фундаментальных констант: величины, обратной гравитационной постоянной тонкой структуры,¹⁴⁰ и постоянной, выражющей возраст современной Вселенной. Р.Дикке сделал вывод о том, что гравитационная постоянная тонкой структуры в качестве мировой константы направляет эволюцию Вселенной к возникновению человека, которое возможно только когда возраст Вселенной сравняется с определенным числовым значением.

Антропный принцип Р.Дикке вызвал много возражений разного характера. Возражения физиков против антропного принципа были связаны с тем, что возраст современной Вселенной определен только двумя универсальными постоянными.

Сильный антропный принцип, который утверждает взаимосвязь фундаментальных физических параметров Вселенной с возможностью и необходимостью появления в ней разума, был сформулирован Б.Картером: фундаментальные параметры Вселенной, от которых зависит ее устойчивость, должны быть такими, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование разумного наблюдателя.

Достаточного физического обоснования сильный антропный принцип пока не имеет. Проблема его обоснования положила начало формированию междисциплинарной концепции глобального эволюционизма. Общая идея обоснования сильного антропного принципа предполагает дополнение фундаментальных физических констант универсальными переменными величинами, которые в современной науке связываются с активностью материи, в частности с ее способностью к самоорганизации.

Происхождение наблюдаемого в настоящее время строения материи Вселенной стало новой проблемой физики. Теория относительности и квантовая теория не дают ответа на вопрос о происхождении наблюдаемых структур Вселенной. Вопрос: почему возникает именно такая Вселенная, которая характеризуется именно такими законами сохранения и ограниченным набором физических констант? - остается открытым.

¹⁴⁰«Постоянная тонкой структуры» задает величину электромагнитного взаимодействия, определяется формулой: $\alpha = e^2/\hbar c$. Как отмечает Р.Пенроуз, это один из «необъяснимых параметров» в Стандартной модели. Обратная величина этой постоянной $\alpha^{-1} = 137,0359\dots$ играет ключевую роль в концепции тонкой подстройки Вселенной, определении возраста Вселенной. Сегодня физики предпочитают рассматривать некоторые фундаментальные константы как функции от энергии частиц, участвующих во взаимодействии, обозначая их «бегущими константами связи», которые зависят от энергии покоя полной системы частиц. Наблюдаемые скалярные величины, называемые «константами Природы» оказываются тогда низкоэнергетическим пределом этих «бегущих» значений. Пенроуз Р., 2007. С.725, 575.

.3. Принципы формирования современной научной картины мира

Формирование новой картины мира в естествознании конца ХХв. характеризуют следующие тенденции: физическая редукция, междисциплинарный принцип системности, признание самоорганизации в качестве всеобщего свойства материи и распространение принципа эволюции на все рассматриваемые явления.

Принцип физической редукции в конце ХХв. оказался под сомнением в связи с проблемой физической интерпретации сингулярности (как особого состояния Вселенной, для которого нет адекватного физического объяснения и описание которого неизбежно включает временной фактор эволюции), а также проблемой теоретического описания явлений, особенно при переходе от макро- к микроявлениям (что поставило под сомнение возможность создания единой унифицированной физической теории) и проблемой самоорганизации.¹⁴¹

Дискуссии вокруг природы квантовых явлений, а также вокруг новой космологии, ставшей уже в первой половине ХХв. физической дисциплиной – астрофизикой, ввели в круг фундаментальных проблем, связанных с объяснением явлений микро- и мегамира, понятия, фиксирующие не характерные для классической и неклассической физики принципы целостности и эволюции.

Главная характеристика постнеклассической науки – отказ от универсальности физических понятий, сомнение в полноте физической картины мира. Новая картина мира в естествознании формируется в конце века на основании междисциплинарного принципа системности, выделяющего фундаментальность и всеобщность процессов самоорганизации в природе.

3.1 Принцип самоорганизации в формировании научной картины мира

Признание самоорганизации в качестве всеобщего свойства материи и распространение принципа эволюции на все рассматриваемые явления становится основанием для синтеза знаний о природе, а также естественнонаучных и социогуманитарных знаний о человеке и обществе. С этой точки зрения представление о мире опираются на следующие положения:

1. Мир состоит из разномасштабных открытых систем, развитие которых протекает по единому алгоритму, имеющему две фазы: линейную и нелинейную.

2. Эволюция структурных уровней материи определяется фундаментальной способностью материи к самоорганизации. При этом чётко

¹⁴¹ Бранский В.П. Философия физики ХХв. СПб., 2002

различается равновесное и неравновесное состояние, а также равновесные и неравновесные структуры.

3. В природе преобладают открытые системы, обменивающиеся веществом, энергией, информацией с окружающим миром, абсолютно замкнутых систем нет. В неживой природе рассеивание и преобразование системой поступающей энергии может приводить к упорядоченным структурам. В живой природе обмен веществом, энергией и информацией со средой обитания позволяет эволюционировать системам от простого к сложному, разворачивать программу роста организма из клетки-зародыша.

Общие мировоззренческие основания теоретического описания явлений составляют *положение об универсальности согласованных процессов в природе* и *принцип вероятного детерминизма*. Ключевыми понятиями выступают: хаос, порядок, неустойчивость, нелинейность, открытость, флуктуация, бифуркация. Формальное описание эволюции сложной динамической системы и группы систем опирается на представление о фазовом пространстве и математические методы факторного анализа.

Теория самоорганизации выявляет единый алгоритм перехода от менее сложных и неупорядоченных состояний к более сложным и упорядоченным. Ее теоретической базой выступают: физика когерентных (согласованных) процессов (Г.Хакен) и неравновесная термодинамика (И. Пригожин).

Представления, развитые в теории нелинейных динамических систем, отождествляют *самоорганизацию* со способностью к разнообразному, сложному, но адекватному внешним воздействиям поведению, которое интерпретируется как скачкообразный переход (бифуркация) системы из одного состояния в другое.

По определению Г.Хакена, самоорганизация – спонтанное образование высокоупорядоченных структур из зародышей или даже хаоса, спонтанный переход от неупорядоченного состояния к упорядоченному за счет совместного, кооперативного (синхронного) действия многих подсистем. Упорядоченность возникает через флуктуации, устойчивость – через неустойчивости. Хаотическое состояние содержит в себе неопределенность, вероятность и случайность, которые конкретизируются понятиями информации и энтропии. Фундаментальным понятием в описании процессов самоорганизации становится вероятность.

Синергетическая парадигма определяет новую модель системного исследования и формального описания природных явлений, которая

открывает перспективу построения единой науки о закономерностях эволюции сложных систем неорганической и органической природы. Особую роль в этой системной модели играет *принцип нелинейности*, который разграничивает две фазы в жизни сложной самоорганизующейся системы (два алгоритма развития):

- 1) *линейная фаза* представляет собой однонаправленное изменение, которое обнаруживает четкую закономерность, ее можно точно рассчитать и на этой основе дать прогноз будущих состояний системы;
- 2) *нелинейная фаза* представляет собой кризисное состояние, которое характеризуется возможностью только вероятного прогноза некоторого множества будущих возможных состояний.

Подчеркивается относительность микро- и макроуровней жизни самоорганизующейся системы. Взаимосвязь уровней играет решающую роль в эволюции системы. Рождение порядка трактуется как рождение коллективных макродвижений (и новых макростепеней свободы) из хаотических движений микроуровня, трансформация которых и выливается в новый порядок. Развивается идея создания теоретической картины эволюционно-исторического развития мирового единства (от Большого Взрыва до образования химических элементов, звезд и планет, и далее - до сложных органических соединений, клетки, экосистем живой природы, вплоть до человека и социума).¹⁴²

3.2 Междисциплинарный принцип системности в формировании научной картины мира

В становлении междисциплинарной картины мира на основе принципа системности решающее значение сыграло учение В.И.Вернадского о биосфере. Ключевые положения концепции биосферы:

1. Трактовка *живого вещества как совокупности (единой системы) всех растительных и животных организмов планеты*, которая выступает естественным компонентом земной коры, наряду с минералами и горными породами.

2. Выделение геологической роли живого вещества планеты. Согласно В.И.Вернадскому, в прошедшие геологические эпохи *живое вещество* по уровню своей геологической активности сопоставимо лишь с радиоактивными минералами Земли. В качестве основных свойств живого вещества Вернадский выделил: *массу (вес), геохимическую энергию и химический состав*, - которые в совокупности определяют интенсивность его важнейших

¹⁴² Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. Синергетический подход. М., 2001

геологических функций (газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную, метаболическую).

3. Основные формы существования живого вещества представляют собой системные объекты: *пленки* - в океане (например, планктонная и донная); *сгущения* - в атмосфере, гидросфере и в пограничных областях (области приливов и отливов, прибрежные морские и океанические территории, а также озера, пруды, реки, грунтовые воды, болота, торфяники, леса, степи, луга); *разрежения* - в атмосфере (воздушное пространство в горах), в гидросфере (нижние слои некоторых морей, ледяные покровы) и в литосфере (пустыни различных типов, ледники, пески, скалистые обнажения). Разрежения разбросаны среди сгущений живой природы и взаимодействуют с ними. Сгущения одного типа переходят в другие (лес/степь) или происходит видоизменение сгущений (хвойный лес/лиственный лес).

Строение и состав живого вещества представляет собой единство живого и косного, биогенного и abiогенного, живого и мертвого.¹⁴³ В структуру живого вещества входят: 1) сами живые организмы, 2) их жизненная среда - та часть косной (абиотической) природы, жидкой, твердой и газообразной, необходимая для поддержания жизнедеятельности организмов; 3) выделения живых организмов (газы, пот, экскременты), находящиеся в земной коре; 4) отмершие и отмирающие части организмов, трупы и их остатки на земной поверхности (которые насыщены разнообразными организмами и микроорганизмами, до конца использующими отмершие ткани).

Понятие живого вещества, введенное Вернадским, не отменяло традиционную в биологии классификацию видов живой природы, а дополняло ее новым системным содержанием. Если традиционная систематика основывалась на единстве клеточной структуры живого, и строилась структурно (начиная с одноклеточных), то у Вернадского систематизация живого строится на *биогеохимической основе*, а его единство обеспечивается обменными процессами в биосфере. Живое вещество проявляет себя на всех уровнях биологической организации и в пределе охватывает всю живую материю Земли.

Согласно *системному биокосмическому принципу* Вернадского необходимо рассматривать живую природу Земли как целостную систему, взаимодействующую с вещественно-энергетическими процессами, протекающими в земных, околоземных и отдаленных пространствах Космоса.

¹⁴³ Вернадский В.И. Биосфера. М., 1967.

Такое обобщение, вводя новые функциональные системы в виде обменных циклов (биогеоценозов), позволяло рассматривать биосферное единство в его внутренних и внешних взаимосвязях.

Предметом исследования в естествознании становится биосфера как целостная эволюционирующая и поддерживающая себя система, которая характеризуется устойчивостью, взаимосвязью систем и состояний разного уровня, качества и состава. Геологическая роль живого вещества (выступающего особым химическим агентом) связана с его чрезвычайной активностью. Живое вещество не просто приспосабливается к внешней среде, а само формирует эту среду, преобразуя ее в свою среду обитания. Приспособливая косную среду к себе, живое вещество создает благоприятные условия для максимального проявления своих геохимических возможностей. Для достижения этого эффекта необходимо, чтобы отношения между организмами и их сообществами характеризовались не только взаимной конкуренцией и борьбой, но также и сотрудничеством и взаимопомощью. В целом биосферное единство в его феноменальной устойчивости характеризуют взаимодополняющие трофические (пищевые) связи и круговорот живого вещества. Примером геохимической активности живого вещества выступает атмосфера, которая является следствием геохимической деятельности растительного мира, играющего также роль связующего звена живого вещества Земли с Космосом.

Учение о живом веществе и биосфере в настоящее время служат фундаментальными теоретическими основаниями биогеохимии, а также тех уже существующих и вновь возникающих наук о Земле, которые принято называть науками биосферного цикла: биоэкологии, биогеоценологии, экологической биогеографии, биогеологии, геогигиены, медицинской экологии, геохимической экологии, морской биологии и др.

Расширением биосферного принципа выступает *системно-генетический принцип*, который подчеркивает реальность скрытых системных условий, закономерно направляющих динамику самоорганизующейся системы, и их роль в рождении нового порядка. Жизненное пространство, образующее макроуровень жизни системы, очерчено единством системных условий, которые с точки зрения элементов самой системы (микроуровня) воспринимаются как априорные ограничения. Изменение системных макроусловий оказывается эволюционным фактором, требующим кардинальной перестройки системы. Новая структура и ее новые свойства вроде бы не имеют видимых оснований. Такой характер возникновения

специфических для новой целостности свойств в истории мысли получил название эмерджентной эволюции. Наглядный пример принципа эмерджентности дает принцип действия калейдоскопа. В этом же ключе развиваются представления о системной детерминации в современной биологии.

Междисциплинарный принцип системности и принцип самоорганизации выступают концептуальным основанием в формировании мировоззренческой позиции глобального эволюционизма, утверждающей всеобщий характер эволюции во Вселенной.

3.3 Глобальный эволюционизм

История становления *глобального эволюционизма* связана с проблемой обоснования антропного принципа, выдвинутого в физике в 60-х гг. XXв., а также с распространением эволюционного подхода в системе естествознания. Слабый антропный принцип подчеркнул неслучайность физических характеристик Вселенной. Выдвижение сильного антропного принципа, согласно которому Вселенная находится в непрерывном процессе эволюции, и появление в ней жизни и разума – закономерный результат этого процесса, - определило стратегию глобального эволюционного подхода к структурной организации Вселенной.

Естественнонаучные основания глобального эволюционизма составили: эволюционные теории в биологии, учение о живом веществе и биосфере, эволюционные теории в космологии, в частности теория Большого взрыва и ее подтверждения (явление красного смещения, реликтовое излучение), теория самоорганизации.

Общими (философскими) основаниями междисциплинарной концепции глобального эволюционизма выступили: принцип детерминизма в современной интерпретации вероятностного детерминизма и макродетерминизма, а также идея развития мира и всеобщей взаимосвязи явлений (впервые высказанная в XIXв. в учении диалектического материализма).

Главный тезис глобального эволюционизма: *все познанная история Вселенной как самоорганизующейся системы от Большого взрыва до возникновения человечества представляет собой единый процесс развития, который характеризуется преемственностью механизмов космической, химической, биологической и социальной эволюции.*

Эволюционное развитие в этом контексте понимается как закономерно направленный процесс необратимых качественных изменений мирового

единства. В отличие от эволюционной теории в биологии, только констатирующей определенную преемственность человека в ряду животного мира природы, но не объясняющей необходимости появления человека и социума, в глобальном эволюционизме утверждение закономерности появления человека – принципиальная исходная позиция, определяющая программу поиска механизмов согласования разных типов эволюции: от космической – до социальной.

В зависимости от схемы анализа единого эволюционного процесса: по «восходящей» линии (от элемента – к сложно организованным системам) или по «нисходящей» линии (от единой гармонии Вселенной или от самой сложной формы материальной самоорганизации – к элементарным структурам), - различают две позиции.¹⁴⁴ В первом случае глобальный характер эволюции прослеживается от уровня элементарных структур и процесса самоорганизации в чистом виде (например, вихревые образования) до сложных иерархически организованных систем в природе и обществе. Утверждается, что генетическое и структурное единство эволюционного процесса определяется низшими уровнями самоорганизации материи. Другую линию анализа предложил Пьер Тейяр де Шарден, полагая, что генетическое и структурное единство эволюционных процессов определено высшими уровнями самоорганизации материи. Представление о человеке как своеобразном «ключе» не только к анатомии обезьяны, но и к универсуму Вселенной, косвенно развивает и сильный антропный принцип, в соответствие с которым тонкая подстройка Вселенной определена закономерностью и необходимостью появления на определенном историческом этапе разумного наблюдателя.

В глобальном эволюционизме термин «эволюция» содержательно отличается от сходных понятий изменения и развития. Эволюция связывается с появлением принципиально новых, ранее не имевшихся параметров или систем. Развитие связывается с появлением новых признаков системы, которые, однако, не являются принципиально новыми для мирового единства. Появление клетки как основы живой природы, например, - эволюционное явление, но обменные процессы, а также процессы, происходящие при рождении каждой отдельной клетки, изменения в результате ее деления, описываются термином «развитие». Категория «изменение» указывает на процессы, происходящие без появления новых определений. Например, процессы, происходящие в современных астрономических объектах,

¹⁴⁴ Миклин А.М. Эволюционная теория: век XX. СПб., 1999.

представляются в терминах изменения и развития (движение планет Солнечной системы, циклы Солнечной активности и т.д.). Эволюционное формирование наблюдавшихся космических тел и образований произошло на определенном этапе развития Вселенной. Сейчас мы наблюдаем лишь изменение их параметров. То же можно сказать о геологических системах.

После завершения эволюционного этапа система изменяется, но ее изменения не носят эволюционного характера. Постоянно эволюционирующей системой выступает только мир в целом. Отдельные эволюционные процессы: на космическом, уровне, геологическом, химическом, биологическом, социальном – представляются собой частные реализации глобальной эволюции мира на разных временных этапах истории Вселенной.

В качестве эволюционирующих систем выделяются только две: весь Мир и форма движения, являющаяся авангардом. Глобальная эволюция Мира отличается от эволюции отдельных систем своей непрерывностью и переносом процесса эволюционных изменений с одного вида движения на другой. Эволюционный процесс в отдельной системе необходимо заканчивается при достижении некоторого равновесного состояния, а эволюция продолжается в последующем виде движения. В авангардной форме движения всегда можно выделить эволюционный параметр, который непрерывно изменяется и связан с появлением новых характеристик и определений данного типа движения. Этот параметр относится к эволюционирующей системе в целом. Например, на уровне социальной эволюции, он относится к единому социуму, а не к расцвету и упадку отдельных государств.

Позиция глобального эволюционизма регламентирует преемственность типов эволюции на основании временности эволюционного развития той или иной системы. Геологическая система была авангардом эволюции на определенном этапе эволюции Мира и завершилась образованием геологических структур и физического мира Земли. На предыдущем этапе, в результате космической эволюции возникла структурная Вселенная. Возникновение биологических систем также было возможно на конкретном этапе, при конкретных физических параметрах, которые невозможно восстановить в данный момент.

Глобальный эволюционизм подчеркивает, что в рамках каждой научной системы, объясняющей и изучающей ту или иную форму движения, должен присутствовать механизм развития, приводящий к внутренним

противоречиям, которые разрешаются при переходе к следующему этапу или следующей системе.

Теоретические посылки глобального эволюционизма можно свести к следующим положениям.

1. Эволюция предстает как процесс движения Мира через самоопределение нового порядка, как поэтапное возникновение новых равновесных состояний.

2. Научные теории, относящиеся к отдельным видам движения, принципиально несводимы. Появление основных видов взаимодействий происходит в эволюционной (временной) последовательности.

3. Адекватное принципиальное описание мировых взаимодействий и форм движения, может дать не единая система уравнений, а математический аппарат, содержащий элемент развития. Если некая система уравнений описывает определенные процессы, то в ней должен быть параметр, при изменении которого, система становится неоднозначной – появляются противоречивые решения. Введение нового параметра, компенсирующего противоречивые решения, приводит уже к другой системе уравнений, которая не сводится математическими преобразованиями к предыдущей и описывает уже другой тип процессов.

4. Антропный принцип, который формулируется как:

Слабый антропный принцип: разум – один из видов мирового движения. Его носителем выступает социальная система.

Сильный антропный принцип: разум – обязательный этап эволюции Мира.

Финалистский антропный принцип: разумная форма движения Мира – неотъемлемый этап, определяющий его дальнейшее развитие. Во Вселенной должна возникнуть разумная обработка информации и, раз возникнув, она никогда не прекратится.¹⁴⁵

Картина мира в глобальном эволюционизме опирается на положение об универсальной взаимосвязи неживой, живой и социальной форм материальной самоорганизации. При этом эволюционирующими формами выступают:

- на уровне неживой природы: физический вакуум, элементарные частицы, вещество Вселенной (лептоны, барионы, излучение), космические тела (звезды, ассоциации, галактики, планеты), в частности, Земля и ее физический и органический мир;

¹⁴⁵ Barrow J.D., Tipler F.J. The anthropic cosmological principle. Oxford, 1986

- на уровне живой природы: переходные макромолекулярные образования, ткани, органы, организмы, популяции, виды, биоценозы, биосфера в целом.

- на уровне социальной формы материи: племя, нация, этнос – на культурном уровне самоорганизации, сами традиционные культуры – на межкультурном, социальном уровне, а также весь социум – на биосферном и ноосферном уровне.

Вселенная предстает в виде трех взаимосвязанных, но различающихся универсальными характеристиками уровней целостности: мегамира, макромира и микромира.

Термином *микромир* обозначают уровень материальной самоорганизации, который характеризуется предельно малыми параметрами, в частности, планковскими единицами длины и времени, постоянной Планка, имеющей энергетический смысл, длинами волн де Броиля. Объекты микромира - элементарные частицы, кванты полей, квантовое поле, физический вакуум. При этом среди элементарных частиц выделяют частицы вещества (фермионы) и бозе-частицы (бозоны). Все фермионы имеют полуцелое ($1/2$ или $-1/2$) значение спина (фундаментальной характеристики частицы, связанной с ее собственным вращением). Поведение частиц, тождественных фермионам, описывает статистика Ферми-Дирака. Для таких частиц действует запрет Паули, согласно которому две тождественные частицы с полуцелым спином ($1/2$) не могут находиться в одном состоянии. Ферми-частицы (частицы вещества) делятся на кварки и лептоны, которые приняты за далее неделимые бесструктурные элементарные частицы вещества.

Элементарные частицы с целочисленным значением спина (1 или 2) называют бозе-частицами (бозонами). Их состояние не подчиняется принципу Паули, а поведение описывает другой статистический закон - закон Бозе – Эйнштейна. Любое количество бозонов может находиться в одном состоянии. В современной физике фермионы и бозоны рассматриваются как частицы различной природы. Ферми-частицы выступают частицами вещества, бозе-частицы – квантами полей. При этом среди бозонов выделяют векторные бозе-частицы со спином 1 или 2 , с которыми связывает фундаментальные калибровочные симметрии, и скалярные бозе-частицы с нулевым спином, природу которых усматривают в физическом вакууме – состоянии с нулевым средним значением энергии всех физических полей.

Представление об эволюции на уровне микромира связано с этапами изменения исходной праматерии в ходе космической эволюции. Одной из гипотез, раскрывающих механизм эволюции микромира, выступает представление о суперсиле как некоем едином типе взаимодействия, предшествующем трем наблюдаемым в настоящее время типам взаимодействий: гравитационным, сильным ядерным и электрослабым.¹⁴⁶

Под *мегамиром* понимается уровень целостности Вселенной, структурные составляющие которой характеризуются размерами, намного превышающими размеры Земли. Основной единицей измерения скоростей и расстояний в мегамире выступает скорость света. Пространственные параметры мегамира измеряются в парсеках, световых годах, астрономических единицах.

Материя на уровне мегамира выступает в виде космического вещества (лептоны, барионы, излучение, а также межзвездный газ и межзвездная пыль), космических тел (звезды, планеты, кометы, метеориты, астероиды и пр.) и космических образований (звездных систем и ассоциаций, галактик и их скоплений). Галактики представляют собой гигантское скопление звезд, имеющее общий центр тяготения. В среднюю галактику входит от 100 до 150 млрд. звезд. Галактики объединяются в группы. Скопления и сверхскопления галактик образуют ячеистую структуру Вселенной, напоминающую пчелиные соты. Ячейка, представляющая собой сверхскопление галактик – самое крупное структурное образование мегамира. Конечная ступень в иерархической организации звездных систем и галактик – Метагалактика, в которую входит порядка 100 млрд. галактик.¹⁴⁷

Основными видами взаимодействий в мегамире выступают гравитационные и электромагнитные взаимодействия (излучения разных длин волн). Средний энергетический уровень для мегамира представлен температурой порядка 1 млн. градусов по абсолютной шкале Кельвина.

Фундаментальные физические константы мегамира: скорость света ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с), гравитационная постоянная ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2$), масса и заряд электрона, масса и заряд протона. Помимо указанных констант современная космология выявила еще ряд универсальных физических и характеристик мегамира, сохраняющих свое постоянное значение. Например, установлено, что во Вселенной на один протон приходится миллиард фотонов. Космическое отношение числа фотонов к числу протонов: $S = 10^9$, - играет важную роль в

¹⁴⁶ Дэвис П. Суперсила. М., 1989.

¹⁴⁷ Редже Т. Этюды о Вселенной. М., 1985; Воронов П.С. Человек и Земля в структуре Вселенной. Л., 1988.

структурной организации мегамира, определяя состав барионного вещества ($\frac{3}{4}$ ядра водорода и $\frac{1}{4}$ ядра гелия).¹⁴⁸

Представление об эволюции мегамира тесно связано с проблемой возникновения многообразия элементарных частиц и основных видов взаимодействий, наблюдаемых в настоящее время. В эволюции космической материи выделяют последовательные этапы (или эры), характеризующиеся преобладающим типом взаимодействия и видом элементарных частиц. Эра великого объединения связывается с превращением возбужденного вакуума, которое приводит под действием неизвестной пока суперсилы к сверхплотному состоянию праматерии, состоящей из супертяжелых частиц. Эра адронов – с разделением единой супресилы на три разных типа взаимодействий: гравитационные, сильный ядерные и электрослабые. В результате образуются кварки и лептоны, затем адроны – тяжелые элементарные частицы, имеющие сложный состав (в частности, протоны и нейтроны). Начало эры адронов – состояние сверхгорячей Вселенной (температуры порядка 10^{27}K), называют Большим Взрывом.

Эра лептонов наступает с понижением температуры до температур 10^{12}K . В конце этой эры Вселенная наполняется потоками электронных нейтрино. Следующая фотонная эра характеризуется снижением температуры и перепадами температур от значений порядка 10^{10}K до 3000K (местами) и разделением электрослабых взаимодействий на слабые ядерные и электромагнитные, квантами которых являются фотоны. В этот период жизни Вселенной образуется атомарный водород и атомарный гелий, происходит разделение фотононного излучения от атомарного вещества. Первое космическое вещество в виде газа, состоящего из водорода и гелия (75% - H_2 и 15% He_2), составляло ничтожную долю космической материи. Далее по мере охлаждение и расширения Вселенной стали возникать газовые области повышенной плотности с возрастающей силой тяготения. Явление самогравитации (постепенного сжатия) рассматривается как фактор образования звезд. Процесс образования звезд - уже начало новой эры структурной Вселенной.

Под макромиром понимается уровень взаимосвязанных материальных тел и процессов, непосредственно наблюдаемых в масштабах Земли. Единицами измерения расстояний выступают метры и километры. Размеры макроскопических тел многое больше размера атома ($\approx 10^{-8}\text{ см}$). Скорости движения тел намного меньше скорости света, а их масса намного меньше

¹⁴⁸ Дэвис П. Случайна Вселенная. М., 1985.

массы Земли. Температурный режим макромира колеблется в небольшом диапазоне около 300К (27С). Преобладают гравитационные взаимодействия в виде силы тяжести и электромагнитные. Фундаментальными константами макромира выступают ускорение свободного падения и скорость света. Материальные структуры макромира представлены физическими телами, состоящими из атомов и молекул неорганического происхождения, и более сложными структурами, имеющим клеточное строение. Тела неорганической природы характеризуются формой, массой, энергией и другими физическими параметрами. Формы и виды живой материи представляют собой предмет биологии и характеризуются уже не только физическими и химическими параметрами, но, прежде всего механизмом воспроизведения. В глобальном эволюционизме развивается представление о структурных уровнях самоорганизации форм живой природы.

Уровни самоорганизации в макромире представлены взаимосвязью и иерархическим подчинением неживой, живой и социальной форм материи. В качестве неживой формы рассматривается геологические оболочки Земли. Эволюционное развитие физического мира Земли раскрывается на основании единства геохимических процессов и представления о геологической и геохимической эволюции. Развитие органического мира Земли раскрывается на основе представления о механизмах биохимической и биологической эволюции. Согласно современным представлениям, результат биохимической эволюции – появление генетической системы с матричным кодом саморепродукции. На этой основе формируются и развиваются более сложные живые системы – протоклетки и клетки, выступающие основой биологического уровня самоорганизации живой природы. Результатом биологической эволюции выступает многообразие одноклеточных и многоклеточных форм жизни.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Часть 1. Общее представление о методологии научного познания	
Раздел 1. Наука и научная рациональность	
1. Формы знания. Мифология и наука.	3
2. Формы обоснования знания	7
3. Общие характеристики научного знания	8
4. Классификация наук	12
5. Критерии научного знания	13
Раздел 2. Методология науки	
1. Предмет методологии науки	14
2. Методологические принципы	15
2.1 Методологические принципы естественных наук	19
3. Методология развития научного знания.	23
3.1 Обоснование и развитие проблемы	23
3.2 Методологические функции гипотезы в развитии знания	27
3.3 Методы обоснования гипотез	33
4. Методология научного творчества – потенциал эвристики	39
Часть 2. Предыстория классической науки	
1. Проблема начала науки	51
2. Исторические этапы развития античной науки	55
2.1 История древнегреческой натурфилософии	56
2.2 Античная наука в эпоху эллинизма	79
3. Наука в средние века	85
4. Натурфилософия и наука эпохи Возрождения.	92
5. Натурфилософия и наука Нового времени	96
5.1 Экспериментальный метод и математические модели в натурфилософии Нового времени.	96
5.2 Научная революция XVII в.	99
5.3 Натурфилософия и механика Ньютона	103
Часть 3. История классической науки	
1. Классическая наука в XVIIIв.	107
1.1 Методология точного экспериментального естествознания	107
1.2 Проблемное поле науки XVIIIв.	112
1.3 Становление химии как области экспериментального естествознания.	116
2.Формирование корпуса дисциплин классической науки в XIXв.	120
2.1 Становление высшей математики и открытия в области астрономии.	120

2.2 Концептуальное оформление физики	123
3.3 Теоретические основания классической химии	134
3.4 Концептуальные основания биологии	137
Часть 4. История развития неклассической науки в XX в.	
1. Критерии и идеал теоретической науки	142
2. Мировоззренческие и методологические аспекты специальной и общей теории относительности	147
3. Методологические проблемы фундаментальных физических теорий	155
3.1 Развитие физики элементарных частиц	155
3.2 История и методологические принципы квантовой физики	161
4. История развития теоретической биологии	166
4.1 История становления генетики	166
4.2 Методологические проблемы эволюционной теории	175
Часть 5. Междисциплинарная методология науки XX-XXI вв.	
1. Формирование общенаучного понятийного аппарата – роль кибернетики в истории современной науки	185
2. Методология функционального подхода в научном исследовании	191
3. Теория систем и системный подход в истории науки XXв.	193
4. Методология системного анализа	195
5. Понятия и принципы информационной парадигмы	199
7. Синергетическая парадигма: истоки и методологические принципы	205
7.1 Теоретические и экспериментальные основания синергетики	205
7.2 Теория самоорганизации	208
7.3 Методологические принципы синергетической парадигмы	215
Часть 6. Эволюция научной картины мира	
1. Научная картина мира (общее понятие)	219
2. Исторические этапы эволюции научной картины мира	221
2.1 Механическая картина мира	221
2.2 Эволюция физической картины мира в XX в.	223
2.3 Идея эволюции в физической картине мира	237
3. Принципы формирования современной научной картины мира	240
3.1 Принцип самоорганизации в формировании научной картины мира	240
3.2 Междисциплинарный принцип системности в формировании научной картины мира	242
3.3 Глобальный эволюционизм	245