

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Л. И. ГУБЕРНАТОРОВА

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА  
МИРА КАК КОМПОНЕНТ  
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ  
КАРТИНЫ МИРА

Учебное пособие



Владимир 2017

УДК 53  
ББК 22.3  
Г93

Рецензенты:

Директор Краснобогатырской средней общеобразовательной школы  
Судогодского района Владимирской области  
*В. Ф. Терентьева*

Доктор философских наук, профессор  
профессор кафедры философии и религиоведения  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*Н. С. Катунина*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Г93            **Губернаторова, Л. И.**

Физическая картина мира как компонент естественнонаучной картины мира : учеб. пособие / Л. И. Губернаторова ; Владимир. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. – 236 с. – ISBN 978-5-9984-0761-1.

Содержание направлено на формирование у студентов гармоничной совокупности современных физических представлений об окружающем нас мире природы, являющихся основой формирования целостной естественнонаучной картины мира. Логика книги соответствует эволюции становления локальных физических картин мира: механической, электродинамической, квантово-полевой и современной. Представлены материалы, позволяющие студентам осознать причины смен физических картин мира и механизмы создания целостных моделей природы на основе доминирующих физических концепций.

Предназначено для студентов вузов всех форм обучения, изучающих естественнонаучную картину мира, аспирантов и учителей естествознания.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 36. Табл. 7. Библиогр.: 20 назв.

УДК 53  
ББК 22.3

ISBN 978-5-9984-0761-1

© ВлГУ, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ ..... 5

ВВЕДЕНИЕ ..... 7

### Глава I. МЕХАНИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

§ 1. Физическая картина мира. Компоненты, структура  
и этапы развития физических картин мира ..... 9

§ 2. Становление классической механики  
как основы механической картины мира ..... 13

§ 3. Представления о материи в механической  
картине мира ..... 18

§ 4. Движение в механической картине мира ..... 28

§ 5. Взаимодействие в механической картине мира  
и концепция дальнего действия ..... 37

§ 6. Пространство и время в механической картине мира ..... 44

§ 7. Причинность (детерминизм) в механической картине мира ..... 56

### ГЛАВА II. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

§ 1. Электромагнитное взаимодействие как новый вид  
физического взаимодействия. Концепция близкодействия  
и возникновение представлений об электрическом  
и магнитном полях ..... 63

§ 2. Электромагнитная волна как новый принцип движения ..... 73

§ 3. Специальная теория относительности и возникновение  
новых представлений о пространстве и времени ..... 78

§ 4. Принцип относительности и понятие причинности  
в электродинамической картине мира ..... 91

## **ГЛАВА III. КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА**

- § 1. Концепция корпускулярно-волнового дуализма  
как методологическая основа новых представлений  
о природе материи и движении в квантово-полевой  
картине мира ..... 101
- § 2. Вероятностные представления и понятие причинности  
в квантово-полевой картине мира ..... 112
- § 3. Становление общей теории относительности и изменение  
представлений о пространстве, времени и взаимодействии ..... 121

## **ГЛАВА IV. ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА**

- § 1. Представления о материи в современной картине мира.  
Элементарные частицы и физический вакуум ..... 141
  - § 2. Движение, типы взаимодействий и Теория Великого  
объединения в современной физической картине мира ..... 160
  - § 3. Взаимодействие и N-мерность пространства-времени  
в современной физической картине мира ..... 192
  - § 4. Детерминизм в современной физической картине мира.  
Вероятностный тип мышления как ведущий  
стиль современного мышления ..... 212
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ** ..... 231
- БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК** ..... 234

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Модернизация системы высшего образования обусловлена рядом новых и важнейших социокультурных причин, одна из которых связана с выделением его новых приоритетных аспектов, в частности, с ценностными, аксиологическо-мировоззренческими подходами при формировании личности современного студента. Новая концепция образования предполагает более широкое, глобальное и целостное видение естествознания и понимание его важнейшей роли в дальнейшем цивилизационном развитии человечества. В связи с этим выделена и определена доминирующая функция естественнонаучного образования для студентов гуманитарной направленности – мировоззренческо-культурологическая.

Идея данного пособия состоит в знакомстве студентов с основополагающими концепциями, идеями и подходами физики как компонента общечеловеческой культуры, показе мировоззренческого потенциала физической картины мира для становления и развития науки в целом и формировании единой естественнонаучной картины мира, накладывающих определённый отпечаток на социальное поведение людей.

В предлагаемой книге упор делается на те положения физической науки, которые привели к коренной ломке представлений о самых важных мировоззренческих проблемах, созданию системных альтернативных представлений о строении мира и взаимодействии человека с природой.

Развитие естествознания в целом шло в русле возникновения и смены физических картин мира: от механической к электродинамической, от неё к квантово-полевой и, наконец, к современной физической картине мира. Логика построения тем соответствует структуре и этапам смены физических парадигм науки, соответствующим представлениям локальных физических картин мира.

Содержание пособия призвано раскрыть студентам целостность и интегративный характер физических картин мира: фундаментальные философские и физические идеи, систему соответствующих физических теорий.

Книга отличается несколькими принципиальными особенностями.

1. Основополагающие идеи, понятия, принципы соответствующей физической картины мира и системы современных взглядов на физические проблемы настоящего времени даны с минимальным привлечением математического аппарата и математических выкладок, что гарантирует понимание вопросов студентами-гуманитариями.

2. Содержание рассматриваемых вопросов при изучении различных физических картин мира включает в себя сопоставление разных альтернативных научных точек зрения, проблемные аспекты той или иной научной модели, что обеспечивает понимание реальных возможностей научной методологии познания и осознания основных тенденций развития современного естествознания.

Приведен материал, раскрывающий содержание механической, электродинамической (электромагнитной) и квантово-полевой картин мира, рассмотрены вопросы, касающиеся фундаментальных представлений современной физической картины мира, что представляет собой наиболее сложную компоненту дисциплины «Естественнонаучная картина мира». Содержание других естественнонаучных картин мира (натурфилософской, астрономической, биологической и химической) было представлено в ранее изданном пособии.

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе познания природы человек всегда стремился упорядочить окружающий мир, увидеть истоки и причины его гармонии и красоты, «ступени», «этажи» мироздания. Представления об окружающем мире расширялись и углублялись, и по мере его познания крепло убеждение, что мир – не совокупность разрозненных вещей и событий, а взаимосвязанное целое, имеющее единое первоначало.

Уже древние мыслители пытались всё богатство внешнего мира свести к некоторым первоосновам, из которых и складывалось всё сущее. Эта идея не устарела и поныне. Один из выдающихся физиков XX столетия М. Планк писал: «С давних времён, с тех пор, как существует изучение природы, оно имело перед собой в качестве идеала конечную высшую задачу: объединить пёстрое многообразие физических явлений в единую систему, а если возможно, то в одну единственную формулу» (Единство физической картины мира // Методологические принципы науки. М. : Наука, 1975. С. 23).

«Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе простую и ясную картину мира. Этим занимается художник, поэт, философ и естествоиспытатель. ... Высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых можно получить картину мира» (Эйнштейн А. Физика и реальность : сб. ст. М. : Наука, 1965).

Термин «научная картина мира» был впервые введён физиками для обозначения некоторого интегрального результата познания природы на определённом этапе её исследования. Ту часть картины мира, которая связана с пониманием природы, называют обычно естественнонаучной. В настоящее время категория «картина мира» прочно вошла в язык современной науки. В общем случае научная картина мира (НКМ) – *целостная система представлений о мире, его общих свойствах и закономерностях, возникших в результате синтеза знаний, полученных из разных наук. В то же время научная картина мира – это и форма воплощения результатов познавательной деятельности*

человека, и модель познанного окружающего мира, включающая в себя представления о природе и обществе. Частью НКМ является естественнонаучная картина мира, отражающая целостную систему взглядов на природу.

Естественнонаучная картина мира – *упорядоченная целостность систематизированных знаний о Вселенной и человеке, формирующаяся на базе фундаментальных открытий и достижений, прежде всего естествознания (астрономии, физики, биологии, химии и др.).*

Базисную, фундаментальную часть всех известных к настоящему времени естественнонаучных и научных картин мира составляет физическая картина мира. Это ядро цивилизационного миропонимания, которое формирует доминирующую научную парадигму. Развитие науки, которое приводит к изменению фундаментальных положений физической картины мира, влечет за собой смену очередной общенаучной картины мира.

Известный методолог науки Кун предложил весьма плодотворную идею о том, что наука – не простое приращение знаний, а единый комплекс знаний соответствующей эпохи, выраженной в той или иной целостной системе знаний о природе, обществе, человеке, процессе познания, называемой им парадигмой. Динамика развития науки была представлена Куном так: старая парадигма – нормальная стадия развития науки – революция в науке – новая парадигма. В целом картина развития науки выглядит следующим образом. На каждом этапе формируется система общих представлений, находящаяся в соответствии с наблюдаемыми фактами. Факты, продолжая пополняться, неизбежно вступают в противоречие с существующей парадигмой, назревает революционная ситуация, приводящая к смене парадигмы и построению новой научной картины мира. Предпосылки новой научной картины мира возникают в ходе научного прогресса уже в рамках старой парадигмы. И в этом отношении научные революции не отличаются от революций социальных.

В представленной книге раскрывается процесс зарождения, становления и смены научных парадигм, отражённых в виде смен соответствующих физических картин мира, приводящих к соответствующему изменению как естественнонаучных, так и социальных представлений других наук.

# Глава I. МЕХАНИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Стучится сердце в тайны бытия.  
Откройте дверь – зовёт оно и просит.  
*В. Сидоров*

## § 1. Физическая картина мира. Компоненты, структура и этапы развития физических картин мира

Понятие физической картины мира (ФКМ) вошло в физику и естествознание стихийно, научно определено не было и понималось главным образом на основе обыденного опыта, здравого смысла или общих философских представлений о природе. Макс Планк, один из родоначальников квантовой физики, связывал ФКМ с определённым этапом, периодом развития физики. Смена периодов развития физической картины мира обусловлена фундаментальными изменениями элементов структуры физики, возникающими в процессе её эволюции, введением новых основополагающих представлений и принципов.

Первоначальную фазу развития физики можно разбить на две эпохи:

- возникновение отдельных физических учений (начинается с древнейших времён и продолжается примерно до XVI века);
- формирование физики как науки (приблизительно с начала XVII до конца XVIII века) и состоит из двух периодов:
  - закладка фундамента физики в XVII веке;
  - развитие физики как самостоятельной науки и освоение ньютоновского метода.

Дальнейшее развитие физического знания приблизительно делится на три эпохи:

- классической физики (с 1800 по 1919 г.). Она заканчивается периодом революционных открытий и философского кризиса в физике (с 1880 по 1912 г.);
- квантово-релятивистской физики (с 1913 г.);
- субатомной физики (с 1913 г.).

Одно из важных отличительных качеств научного знания – его системность. Сведение задач науки лишь к сбору фактов означает, как подчёркивал А. Пуанкаре, полное непонимание истинного характера науки. Он же писал, что ученый должен организовать факты. По его

мнению, хотя наука и складывается из фактов, как дом из кирпичей, но одно голое накопление фактов не составляет ещё науки, точно так же, как куча камней не составляет дома.

Однако знание может быть систематизированным не только в науке. Кулинарная книга, справочник, дорожный атлас и тому подобное – везде знание классифицируется и систематизируется. Научная же систематизация специфична. Научное знание должно быть логически организовано. Собрание разрозненных знаний, не объединенных в связную систему, еще не образует науку. В основе научных знаний лежат определенные исходные положения, закономерности, позволяющие объединять соответствующие знания в единую систему. Знания превращаются в научные, когда целенаправленное собирание фактов и их описание доводится до уровня их включения в систему понятий. Научное знание как система имеет определенную структуру, элементами которой являются факты, законы, теории, картины мира. Для него свойственно стремление к полноте, непротиворечивости, четким основаниям систематизации.

Развитие физики было бы невозможным без существования единой системы исходных теоретических положений, принципов и общих гипотез, которые служат средством связи между различными физическими теориями и характеризуют состояние физики на каждом этапе её развития. *Высшей формой систематизации физического знания является физическая картина мира. Основное содержание физической картины мира составляет система фундаментальных понятий, принципов и законов.*

*Каждая ФКМ возникала на основе относительных, соответствующих данному историческому уровню развития науки представлений о структуре материи и формах её существования. В то же время представления ФКМ о материи и формах её существования опираются, в первую очередь, на философские представления конкретной эпохи и включают в себя компоненты, приведенные на рис. 1.*

Развитие в целом науки, философии и естествознания привело к осмыслению главного содержания ФКМ. Физическая картина мира – это модель природы, включающая в себя представления о материи, движении, взаимодействии, пространстве, времени и причинности. Именно эти представления отражены и конкретизированы в фундаментальных физических идеях, лежащих в основе каждой частнонаучной физической картины мира.



Рис. 1

Это действительно целостная система знаний, известная к тому времени, моделирующая, упрощающая природу и в то же время позволяющая ответить на принципиально важные физические и философские вопросы человеческого природного бытия, а именно:

- Каковы материя и её свойства?
- В каких видах она существует?
- Что представляют собой формы существования материи, каковы их свойства?
- Как материя движется?
- Почему и как происходит развитие материи?

Другими словами, ФКМ – это совокупность наглядных представлений о природе, строении материи, образ Вселенной в целом. Поскольку ФКМ представляет собой целостную и обобщённую модель природы, в развитии науки и естествознания в целом она выполняет несколько функций:

- объяснительную;
- систематизирующую (модель природы в целом);
- объединяющую (согласовывает и объединяет целый ряд признаваемых на данном этапе развития науки теорий);
- формирующую (обуславливает тот или иной тип мышления эпохи);
- мировоззренческую (служит основой миропонимания конкретного этапа развития человеческого социума).

В истории развития естествознания известно несколько видов ФКМ, логика становления которых соответствует этапам развития естествознания, в частности физики:

- механическая (МКМ);
- электродинамическая (ЭДКМ), или электромагнитная;
- квантово-полевая (КПКМ);
- в настоящее время происходит становление современной ФКМ.

Значимость становления и развития ФКМ отражена в том факте, что практически все научные картины мира, кроме первой, называются так же, как и соответствующая физическая картина мира, а именно: механическая, электромагнитная и квантово-полевая. Исключение составляет лишь первая научная картина мира – натурфилософская, становление которой происходило вне рамок развития физики, как сформировавшейся отдельной научной дисциплины. Эволюция естествознания – это фактически эволюция и становление ФКМ, т. е. эволюция миропонимания и отношения человека к природе и миру в целом.

Таким образом, ФКМ включает в себя совокупность наглядных представлений о природе. Это образ целостной Вселенной, происхождения всего сущего, его становления, развития, будущего природы вместе с человечеством. Физическая картина мира составляет ядро общей естественнонаучной картины мира, описывающей взаимодействие и интеграцию природы и общества, наук о природе и наук социальных. Схематически это можно изобразить так, как показано на рис. 2 и 3.

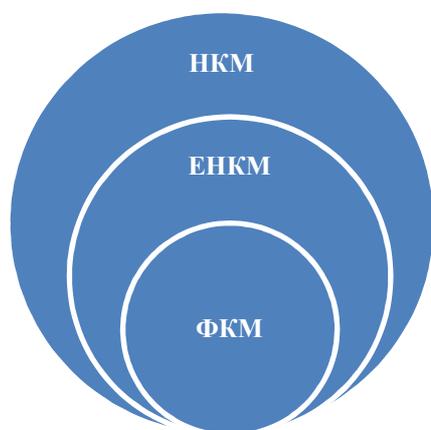


Рис. 2



Рис. 3

## Вопросы для контроля

На какие эпохи можно разбить развитие физики как науки?

Какие физические картины мира вы знаете?

Что входит в структуру физической картины мира?

Что называется физической картиной мира?

Почему первая научная картина мира называется иначе, чем физическая картина мира?

Каковы функции физической картины мира?

Как именно связана ФКМ с другими социальными науками и науками о природе?

## § 2. Становление классической механики как основы механической картины мира

Всякая ФКМ представляет собой процесс зарождения, становления, развития и смены человеческих представлений о природе. Ядром, базисом, научной основой механической картины мира (МКМ) считается классическая механика, поскольку все её основополагающие идеи и принципы находили отражение и применялись во всех других отраслях естествознания и физики в целом. В схематическом виде содержание МКМ можно представить так, как показано на рис. 4.

Механическая картина мира начинает формироваться и складываться в период XVI – XVII веков благодаря деятельности целой плеяды учёных.



Рис. 4

Наиболее значимы в этом отношении труды Г. Галилея, Р. Декарта, Х. Гюйгенса и И. Ньютона. Благодаря им в этот период возникают и развиваются совершенно новые, альтернативные принципы и методы физического познания природы.

Г. Галилей (1564 – 1642 гг.) изменяет господствующую методологию научного познания, вводя в обиход физики эксперимент, опытное исследование природы, опровергая и оспаривая господствующее в то время аристотелианское утверждение о недопустимости человеческого вмешательства в естественный ход протекания природных процессов.

Труды Аристотеля – это энциклопедия, обобщающая опыт и знания многих поколений и прослужившая точкой опоры для науки почти два тысячелетия, вплоть до эпохи Возрождения. Это было учение о структуре, свойствах и движении всего, что входит в понятие природы. Цель науки, по Аристотелю, состоит в объяснении природы на основе наблюдений и логических рассуждений. Формулу его познавательного метода можно метафорически выразить следующим образом: наблюдение + логика (формальная) = достоверному выводу. Именно данная научная методология познания предопределила отрицание в научных исследованиях опыта, эксперимента как такового. Опыт (эксперимент) как метод научного познания появился достаточно поздно и был введен в науку лишь трудами Ф. Бэкона и Г. Галилея.

Как один из основателей классической механики Г. Галилей сделал ещё один важнейший шаг: соединил физику с математикой. До Галилея физика и математика друг с другом практически не соприкасались. Физики, исходя из аристотелианской методологии изучения природы, были заняты умозрительным наблюдением природных процессов. Математики имели дело с искусственными математическими моделями, которые придумывались для описания наблюдаемых явлений и не претендовали на раскрытие причин этих явлений. Галилео Галилей, опытно, экспериментально изучая различные виды движения (прямолинейное равномерное, ускоренное, свободное падение и др.), с помощью математики не просто описывает эти движения, но и выражает их сущность. Эта его важнейшая инновационная методологическая идея в познании природы дошла до нас в виде известного афоризма: «Книга природы написана на языке математики», т. е. он

убирает, снимает противоречие между математикой как наукой, позволяющей описывать движения, и физикой как наукой, объясняющей причины движения.

Физический эксперимент и математическое описание физических явлений – именно этот революционный симбиоз позволил зародиться тому способу описания природы, который сейчас называется классическим, и способствовал становлению механики как раздела физики.

Решающий вклад в становление механической картины мира внёс Исаак Ньютон (4 января 1643 г. – 31 марта 1727 г. по григорианскому календарю) – английский физик, математик, механик и астроном, один из создателей классической физики.

Можно было бы привести очень длинный перечень отзывов о Ньютоне, в которых люди дали все самые высокие эпитеты для характеристики его исключительности и величия: гениальный, божественный, великий сверхчеловек и т. д. Ньютон лежит в Иерусалимском покое Вестминстерского собора. Усыпальница представляет собой подобие саркофага, на котором изображены фигуры юношей, держащих эмблемы открытий Ньютона. У одного в руках призма, у другого – отражательный телескоп и т. д. На саркофаге, как на пьедестале, покоится бронзовая фигура сэра Исаака, позади него два ангела держат свиток с чертежом Солнечной системы. На граните выбита эпитафия: «Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, который почти божественной силой своего ума впервые объяснил с помощью своего математического метода движения и формы планет, пути комет, приливы и отливы океана. Он первый исследовал разнообразие световых лучей и проистекающие отсюда особенности цветов, каких до того никто даже не подозревал. Прилежный, проницательный и верный истолкователь природы, древностей и Священного писания, он прославил в своём учении Всемогущего Творца. Требуемую Евангелием простоту он доказал своей жизнью. Пусть смертные радуются, что в их среде жило такое украшение человеческого рода...» (URL: [edufuture.biz/index.php?title=...копия](http://edufuture.biz/index.php?title=...копия)).

Такая дань заслугам Ньютона не случайна. По мнению виднейшего физика XX столетия С. И. Вавилова, Ньютон – грандиознейшее и удивительнейшее явление в истории науки. По его же словам, он подобен некоему узлу, в котором сошлись нити из прошлых веков и

из которого берут начало нити, протянувшиеся в будущие века. До Ньютона механика только создавалась, после него она уже существует и предопределяет дальнейшее развитие физической науки вообще.

Он автор фундаментального труда «Математические начала натуральной философии» (1687 г.), в котором изложены все основные идеи классической механики, послужившие основой формирования МКМ. «Начала» Ньютона представляли собой первую всеобъемлющую гипотетико-дедуктивную систему механики (теорию), представляющую собой *новую научную программу*. Эта научная программа спустя несколько десятилетий оттеснила на задний план остальные программы XVII века. Примерно с 50-х гг. XVIII века она стала ведущей не только на Британских островах, но и на континенте, завоевав мировое признание. Ньютоновские «Начала» подводили итог развитию всего естествознания, начиная с середины XVI века.

Он продолжает идти по пути математизации физики – именно поэтому его труд и называется «Математические начала натуральной философии». В качестве идеала Ньютон берёт геометрию Евклида, поставив перед собой цель – сделать физику наподобие геометрии. Такая цель предопределялась тем, что долгое время геометрия Евклида считалась идеалом науки, даже «Этика» Спинозы создавалась по её образу и подобию.

В качестве аксиом Ньютон выдвигает аксиомы движения и сам метод называет методом принципов: «Вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех вещей вытекают из этих явных начал, было бы очень важным шагом в философии», – писал он в своём труде. «Главная обязанность натуральной философии – делать заключения из явлений, не измышляя гипотез, и выводить причины из действий до тех пор, пока мы не придём к самой первой причине...» ([URL: tajfan.com/wp-content/uploads/2015/03/Физическая-картина-мира.ppt](http://tajfan.com/wp-content/uploads/2015/03/Физическая-картина-мира.ppt)) ([tajfan.com/wp-content/uploads/...копия](http://tajfan.com/wp-content/uploads/...копия)).

Первый российский переводчик «Начал» академик А. Н. Крылов подчёркивал важнейшую особенность ньютоновского труда: «В этом сочинении всё было ново: начиная с аксиом движения и кончая величайшим из законов природы – законом всемирного тяготения, математически выведенном из законов планетарных движений, данных

Кеплером» (Крылов А. Н. Ньютон и его значение в мировой науке // Исаак Ньютон : сборник / под. ред. С. И. Вавилова. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1943).

«Начала» открываются своеобразным введением, в котором даются определения важнейших физических понятий: массы, количества движения, силы и вводятся три закона динамики, известные в настоящее время как законы Ньютона. Затем идёт изложение механических начал, состоящее из трех книг. В первой книге рассматривается движение материальной точки под действием центральных сил, изложены основы учения о притяжении сферических тел, приводится ряд оптических задач. Вторая книга посвящена учению о движении тел в среде. Третья называется «О системе мира».

В содержании труда фактически прослеживается и выполняется главный замысел Ньютона о разработке глобальной новой научной программы. Она ориентирована на описание и объяснение важнейших аспектов человеческого бытия и отвечает на вопросы: из чего состоит окружающий человека мир и каков тот основной процесс, в силу которого в мире происходят изменения? Именно поэтому «Начала» Ньютона – эпохальная веха в развитии естествознания. В своём труде И. Ньютон рассматривает природу и всю Вселенную (микро- и макромир) целостно и системно:

- вводится новая корпускулярная концепция строения материи, описываются свойства корпускул;
- даются понятия абсолютного и относительного пространства;
- формулируются понятия абсолютного и относительного времени;
- описываются свойства пространства и времени как форм существования вещественных объектов;
- предлагается новый тип взаимодействия материальных объектов, объясняющий наблюдаемую структуру и механизм развития Вселенной (тяготение);
- вводится математическое описание причинно-следственных связей (законы динамики), позволяющее прогнозировать характер механического состояния тел.

Впоследствии физическая картина мира и механическая картина мира в частности стала пониматься именно как упрощённая модель

природы, включающая в себя представления о материи, движении, взаимодействии, пространстве, времени и причинности.

Подводя итоги, можно сказать, что процесс становления МКМ – завершающий этап в развитии классической механики и переноса её методологии познания и описания мира на другие области естествознания. Это переход от созерцательного наблюдения природы к её математическому описанию, не к феноменологическому, а объясняющему, описывающему природный мир целостно, системно, на основе причинно-следственных связей.

### Вопросы для контроля

Когда начала создаваться механическая картина мира?

Кто является родоначальниками создания механической картины мира?

Каковы научные заслуги Г. Галилея в разработке МКМ?

Каковы научные заслуги И. Ньютона в разработке МКМ?

Что представляет собой физическая теория?

Каковы функции физической теории?

Что входит в содержание механической картины мира?

### § 3. Представления о материи в механической картине мира

Природа и законы природы были скрыты во тьме.

Бог рек: «Да будет свет». И воссиял свет.

*Мемориальная доска на доме, где жил И. Ньютон*

Был этот мир глубокой тьмой окутан.

Да будет свет! И вот явился Ньютон.

*Перевод С. Маршака*

Основой периодизации ФКМ служит качественное изменение представлений о материи. Понятие о материи – ключевое понятие любой физической картины мира. Смена ФКМ происходит фактически только со сменой представлений о сущности материи, её свойств. Как показывает ретроспективный анализ, смена представлений о сущности материи в истории физики и науки в целом происходила неоднократно и связана со сменой континуальных и дискретных представлений о её природе.

В представлениях о материи Ньютоном был совершён революционный переворот, обусловивший смену парадигмы мышления учёных ньютонианской эпохи. Чтобы оценить революционный шаг Ньютона в представлениях о материи, следует обратить внимание на то, что наука Нового времени опиралась на совершенно иные представления, берущие свои истоки с философских воззрений Древней Греции.

Первые греческие философы напряженно искали первоначало мира, на основе которого осуществляется единство природы. Первооснова, первопринцип, из которого состоит все остальное, имеет в греческой философии два термина: «стойхейон» – ядро, основа в логическом смысле слова, корень и «архэ» – первоматерия, праматерия в историческом смысле.

В воззрениях на материю в данный период существовала значительная разногласица, представители разных философских школ в качестве первоосновы видели различные основания.

Один из знаменитых «семи мудрецов» древности Фалес Милесский (ок. 625 – 547 гг. до н. э.) в качестве такой первоосновы выдвигает воду: всё произошло из воды, и всё, по его представлениям, в конце концов в воду превращается. Исторически данный шаг оценивается как радикальный во всей греческой философии. Фалес произвел буквально переворот в мировоззрении, выдвинув идею субстанции-первоосновы всего и усмотрев начало всего во влаге. Ницше подчёркивал величайшую важность такого шага, так как положение о воде, по его мнению, во-первых, содержит материальный вопрос о природе всех вещей, во-вторых, требование рационального ответа на этот вопрос без ссылки на мифы и мифические представления, в-третьих, содержит предположение о возможности понять мир на основе одного исходного принципа.

Идея Фалеса о природном первоначале с исторической точки зрения чрезвычайно важна: был проложен путь к естественному объяснению природы. Ему впервые пришла мысль о единстве мироздания. Эта идея, однажды родившись, никогда уже не умирала: она общалась его ученикам и ученикам его учеников.

Преемник Фалеса, Анаксимандр (ок. 610 – 540 гг. до н. э.) за первооснову сущего принял не какое-то конкретное вещество, а первовещество – апейрон (буквально – «беспредельное»). У беспредельного нет начала, оно объемлет всё и всем правит. Апейрон – неопределенная и

беспредельная субстанция: её части изменяются, целое остаётся неизменным. Поскольку это начало бесконечно, оно неистоично в своих возможностях образования конкретных реальностей. Анаксимандр полагал, что апейрон первоначально представлял собой неопределенную туманную массу, находившуюся в постоянном круговом вращении, из которой в конце концов произошло всё многообразие мира.

Гераклит Эфесский предлагал в качестве первоначала огонь. Выбор такого первоначала основан на том, что огонь – образ вечного движения. Огонь является наиболее подходящим определением для стихии, понимаемой как субстанция, для которой характерно, что она есть вечный процесс, «пылающая» динамика сущего. Но это совсем не значит, что Гераклит на место воды и воздуха поставил огонь. Дело гораздо тоньше. Правда, у Гераклита Космос – это вечно полыхающий огонь, но это живой огонь. Он тождествен божеству. Огонь как душа космоса предполагает разумность и божественность. А ведь разум обладает властной силой управления всем сущим: он все направляет и всему дает форму. Разум, т. е. Логос, правит всем через всё.

Таким образом, древними греками впервые в истории естествознания поставлен вопрос: «Что лежит в основе мира, вернее, какое естественное начало лежит в его основе?». Ответы у них разные, но именно они положили начало собственно философскому подходу к вопросу происхождения сущего: к идее субстанции, т. е. первооснове и сущности всех вещей и явлений мироздания.

*Главной принципиальной особенностью их воззрений являются представления о непрерывности, беспредельности материи. Материя представлялась континуальной в виде какой-либо субстанции (воды, воздуха, огня, апейрона).*

Однако пифагорейская школа на вопрос о первоначале мира отвечала совершенно иначе. Структура мира, согласно их воззрениям, определяется соотношениями чисел. Числа понимались как суть всего существующего, им придавался мистический смысл. Основной постулат пифагорейского учения: «всё есть число». Число для пифагорейцев было первым принципом в описании природы. «Самое мудрое в мире – число». Числа есть первооснова мира. При этом числа вовсе не являются кирпичиками мироздания, из которых состоят все вещи. Вещи не равны числам, а подобны им, основаны на количественных отношениях, являющихся подлинно фундаментальными.

В Афинский период (V – IV века до н. э.) были оформлены несколько альтернативных картин мира.

Особое место в данный период занимают взгляды на мироздание и материю философов-атомистов Левкиппа и Демокрита (460 – 370 гг. до н. э.). Атомизм – натурфилософская и физическая теория, согласно которой чувственно воспринимаемые (материальные) вещи состоят из неделимых частиц – атомов. Согласно учению атомизма *начала всего сущего – неделимые частицы – атомы*. Основные положения атомистического учения сводились к положениям:

- вся Вселенная состоит из мельчайших материальных частиц – атомов;
- атомы неуничтожимы, вечны, поэтому и вся Вселенная вечна;
- атомы представляют собой мельчайшие, неизменные, непроницаемые и абсолютно неделимые частицы;
- различаются атомы по форме и величине, форма их может быть разнообразной;
- атомы находятся в постоянном хаотичном движении;
- атомы не имеют ни цвета, ни запаха, ни вкуса.

Согласно Демокриту как драма может быть написана одними и теми же буквами алфавита, так бесконечное многообразие событий реализуется посредством одних и тех же атомов, благодаря их движению и конфигурации. Движение атомов невозможно без пустого пространства между ними. «В мире нет ничего, кроме атомов и пустоты» – его ключевой, центральный афоризм. Значение атомарной гипотезы Демокрита для развития науки и человеческой цивилизации в целом переоценить невозможно. Не случайно Р. Фейнман, автор знаменитых фейнмановских лекций по физике, подчёркивал: «Если бы в результате какой-либо мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными, и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это – атомная гипотеза: все тела состоят из атомов – маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому» (URL: [e-libra.ru...fejmanovskie...fizike-1.-sovremennaya...](http://e-libra.ru...fejmanovskie...fizike-1.-sovremennaya...)).

Таким образом, в программе Демокрита представления о материи кардинально отличаются от континуальных представлений милетцев о субстанциях. Появляется утверждение о прерывистости материи, её дробности, порционности; мельчайшей порцией вещества являются атомы.

Однако отрицание Платоном, величайшего авторитета своего и последующего времени, воззрений атомистов обусловило глубокое забвение идей атомизма вплоть до XV века. Платоном (428/427 – 348/347 гг. до н. э.) в качестве первоосновы выбрано иное первоначало. Платон – древнегреческий философ, ученик Сократа, учитель Аристотеля. Он – основатель собственной школы – Академии, родоначальник объективного идеализма. Платон не разделял материалистических идей атомизма и настолько не одобрял учение Демокрита, что у него было желание уничтожить и сжечь все его книги, что практически и было осуществлено.

Платон как представитель объективного идеализма полемизирует с представлениями о субстанциональных первоначалах всего сущего и выдвигает в таком качестве «идею». Идеи трактовались им как некие божественные сущности, «эйдосы». Демиург творит мир вещей посредством идей.

Вершиной античной натурфилософии явилась программа Аристотеля (384 – 322 гг. до н. э.), которого без особых натяжек можно считать и первым *философом науки*. После его смерти западная цивилизация две тысячи лет не знала философа, равного ему. Аристотель большую часть жизни провёл в Афинах, где основал свою знаменитую научную школу.

Он отказывается признавать существование идей или математических объектов, существующих независимо от вещей. Материя, в его понимании, представляет собой не какое-то конкретное вещество, а является неопределённым телесным субстратом, который содержит в себе возможность, потенцию. Поэтому *основой мира является некий материальный субстрат, первоматерия, наделённая двумя парами противоположных, взаимоисключающих свойств, «первичных качеств»*. Комбинация этих свойств даёт четыре основные стихии, или элемента: огонь (теплое и сухое), воздух (теплое и влажное), воду (холодное и влажное), землю (холодное и сухое). Аристотель дополнил известные первоначала ещё одним первоэлементом. Пятый эле-

мент – божественный эфир, из которого состоят небо и звезды. По мнению Аристотеля, первоматерия бесконечна и безгранична, «природа пустоты боится», «да и откуда ей взяться».

В силу величайшего авторитета Аристотеля воззрения аристотелианской школы стали доминирующими в течение многих столетий. Более того, представлялось, что знать физику может только тот, кто знает именно физику Аристотеля. Соответственно в представлениях о природе материи *до XVI века в науке господствовала концепция континуальности (непрерывности) материи. **Континуум*** – сплошная материальная среда, свойства которой изменяются в пространстве непрерывно.

В кратком виде основные фундаментальные естественнонаучные положения натурфилософской картины мира о материи можно в первом приближении представить в табл. 1.

Таблица 1

Философские школы	Основные представления
Милетская школа	Первоначала (первозлементы): вода, воздух, апейрон, огонь. Материя беспредельна, безгранична, континуальна
Программа Пифагора	«Всё есть число»
Программа Демокрита	Материя дискретна, существование мельчайших материальных частиц: «В мире нет ничего, кроме атомов и пустоты»
Программа Платона	Мир есть искажённая тень божественных идей (эйдосов). «Бог постоянно геометризует»
Программа Аристотеля	«Природа пустоты боится», «Да и откуда ей взяться». Материя континуальна, беспредельна

Наиболее серьёзно представления о континуальности материи начали подвергаться сомнению лишь в XVI веке по причине невозможности объяснения работы насосов. Вода вслед за поршнем насоса поднималась, как полагалось, именно потому, что боится пустоты и заполняет её под поршнем. Однако поднятие воды наблю-

дается только до 10 метров. Возникла серьезнейшая мировоззренческая и естественнонаучная проблема: почему до высоты 10 метров вода боится пустоты, а потом перестаёт? (собственно говоря, это и послужило причиной открытия атмосферного давления).

Тем не менее и наука Нового времени опиралась на аристотелианские представления о «сплошности», непрерывности, континуальности материи. Один из выдающихся философов этой эпохи Декарт опирается именно на эти концептуальные представления Аристотеля и утверждает, что всё пространство заполнено материей, пустоты нет. Движение при таком представлении понимается им как смещение по кругу: одно тело встаёт на место другого, выталкивая его со своего места, это второе вступает на место третьего и таким путём до таких пор, пока последнее не займёт место первого. *Физика Декарта, или, как говорят, картезианская, континуальная физика, и была ареной той борьбы, на которой сражались приверженцы физических воззрений Ньютона, формируя следующую картину мира – механическую.*

Именно это имел в виду Вольтер, когда писал в «Философских письмах» (1731 г.): «Когда француз приезжает в Лондон, то находит здесь большую разницу как в философии, так и во всём другом. В Париже, из которого он приехал, думают, что мир полон материи, здесь же ему говорят, что он совершенно пуст; в Париже вы видите, что вся Вселенная состоит из тонких вихрей материи, в Лондоне же вы не увидите ничего...» ([URL: scibook.net/istoriya-nauki...prosvescheniya.html](http://scibook.net/istoriya-nauki...prosvescheniya.html)).

Вся территория Европы географически разделялась на две: приверженцев ньютонианства и картезианства. Лондон был центром ньютонианства, а Париж – картезианства. Еще задолго до написания «Начал» Ньютон сформулировал целый ряд возражений против учения Декарта. Они были опубликованы в 1962 г. вместе с целым рядом других материалов из ньютоновского архива. И в самих «Началах» полемика с картезианством ведётся не менее остро.

В своих «Началах» И. Ньютон писал: «...мне кажется вероятным, что Бог вначале дал материи форму твердых, массивных, непроницаемых, подвижных частиц таких размеров и фигур и с такими свойствами и пропорциями в отношении к пространству, которые более всего подходили бы к той цели, для которой он создал их. Эти

первоначальные частицы, являясь твердыми, несравнимо тверже, чем всякое пористое тело, составленное из них, настолько тверже, что они никогда не изнашиваются и не разбиваются в куски. Никакая обычная сила не способна разделить то, что создал Бог при первом творении. Если бы они изнашивались или разбивались на куски, то природа вещей, зависящая от них, изменялась бы. ... Поэтому природа их должна быть постоянной, изменения телесных вещей должны проявляться только в различных разделениях и новых сочетаниях и движениях таких постоянных частиц...» (URL: [bibliofond.ru/view.aspx?id=42470...](http://bibliofond.ru/view.aspx?id=42470...) копия).

Фактически им началась возрождаться и утверждаться забытая идея Демокрита об атомарном строении вещества. Как показывает история развития физики, эти представления возрождались с большим трудом и сложностями.

Заметим, что в 1626 г. в «просвещенном» Париже учение об атомах запретили под страхом смертной казни. Интересно и то, что когда в 1417 г. итальянский гуманист Поджо Браччолини отыскал в отдалённом монастыре список давно забытой латинской поэмы Лукреция Кара «О природе вещей», то прежде всего она привлекла внимание художников и поэтов, которые были поражены её образностью. Лишь впоследствии выраженная в поэме атомарная гипотеза стала привлекать химиков и, наконец, в учебнике физики, составленном И. Шперлингом в 1638 г., появилось утверждение: «Учение об атомах не столь ужасно, как кажется многим... Ничего не стоит сказать, что Эпикур бредил, что Демокрит безумствовал, что древние были дураками. Истина зависит от вещей, а не от человеческих мозжечков» (URL: [4455.ru/exactscience/fs\\_5\\_a111.htm](http://4455.ru/exactscience/fs_5_a111.htm)).

Сам Ньютон разработкой атомарной гипотезы подробно не занимался, но проявлял к ней неподдельный интерес в связи с ответом на фундаментальный вопрос о качестве материи. Какова природа материи: она континуальна, непрерывна или дискретна, дробима? Этот фундаментальный вопрос решался им принципиально иначе, чем Декартом. И. Ньютон стал утверждать новую концептуальную идею о дискретности, прерывистости материи. В своих знаменитых «Математических началах натуральной философии» он уже совершенно

определённо говорит о корпускулярном строении мира. Им же этот термин и окончательно утверждён. *Корпускула* – от лат. *corpusculum*, уменьшительное лат. *corpus* – тельце, крошечная плоть понималась И. Ньютоном как мельчайшая частица материи. К свойствам корпускул Ньютон относил твёрдость, непроницаемость, подвижность и инерцию. Макротела представляют совокупность корпускул и дополнительно обладают протяжённостью и объёмом.

Разрабатывая математические начала физической науки, Ньютон заменил впоследствии реальные физические объекты и корпускулы математической моделью – моделью материальной точки. Он показал, что практически все тела Вселенной при тех или иных условиях можно заменять моделями материальных точек и решать физические задачи чисто математическими методами.

Ньютон высказал также гипотезу о корпускулярной природе света, полемизируя с взглядами о волновой природе света, наиболее широко распространённой в то время. Данное представление о волновой природе света было совсем не беспочвенным, поскольку наблюдаемые явления прямолинейности распространения света, интерференции и дифракции света объяснялись именно с таких позиций. Тем не менее интуиция привела Ньютона к размышлениям о том, что если материя имеет корпускулярную природу, то и свет также состоит из корпускул.

Однако Ньютон не везде последовательно проводит корпускулярную (эмиссионную) теорию света. В некоторых случаях он неявно допускает объяснение световых явлений с помощью волновой теории. Текст «Начал» свидетельствует о колебаниях во взглядах Ньютона относительно природы света. Ньютон не принимает до конца ни волновую, ни корпускулярную теорию света, хотя в большинстве случаев склоняется к корпускулярной. Так, размышляя о природе телесных вещей вообще и света в частности, Ньютон пишет, что это – атомистическая гипотеза примерно в том же виде, как её формулировал Гюйгенс. Однако атомисты не приписывали своим атомам никаких активных сил, ограничиваясь только указанием на неизменность и абсолютную твердость атомов. Ньютон же допускает, что они движутся некоторыми активными началами, например, такими, как силы тяго-

тения, и началами, вызывающими сцепление тел. Таким образом, атомы выступают у Ньютона как центры сил, что существенно отличает программу Ньютона от традиционно атомистической.

Победа над конкурирующими научными программами досталась ньютонианцам не без жестокой борьбы. С критикой ньютоновских «Начал» выступили не только картезианцы, идеи которых еще долго оставались господствующими в Парижской академии, но и атомисты во главе с Гюйгенсом, и Лейбниц, и многие их сторонники и ученики.

Окончательная смена картезианских (Декартовых) представлений о безграничности, континуальности материи произошла лишь после становления механической картины мира и благодаря триумфальному шествию идей Ньютона, благодаря тем победам, которые произошли в рамках познания и объяснения мира на основе ньютонианских идей.

Таким образом, натурфилософская картина мира с её представлениями о континуальности, непрерывности материи была заменена механической картиной мира, основой и фундаментом которой стали принципиально иные представления о дискретности, корпускулярности материи. Научная парадигма стала принципиально иной, произошла научная революция – ньютонианская революция.

### **Вопросы для контроля**

Кто считается родоначальником механической картины мира?

Что явилось причиной появления механической картины мира?

Какие принципиальные изменения в представлении о материи произошли в МКМ?

Что такое континуальность материи?

Какие философские школы придерживались концепции континуальности материи?

Что такое корпускулярность материи?

Что такое корпускула?

Какие естественнонаучные факты послужили причиной смены представлений о природе материи?

## § 4. Движение в механической картине мира

Мы говорим вполне новое о том,  
что старо, как сам мир.  
О нём философы написали  
много толстых томов,  
но самые важные свойства движения  
до сих пор не выяснены. Мы указываем их,  
и наша работа послужит  
хорошим основанием науки,  
которую разработают великие умы.

*Г. Галилей*

На стенах физических аудиторий вузов по праву обычно висят знаменитые «Аксиомы или законы движения» Ньютона рядом с периодической системой элементов. Эти законы – вовсе не историческая памятка или украшение аудитории. Это фундамент понимания того мира, который нас окружает.

*С. И. Вавилов*

Движение – одно из самых очевидных свойств материи, это то, что у человека всегда перед глазами в обыденном, окружающем его мире. Под движением обычно понимается процесс изменения телом своего местоположения относительно других тел (в пространстве). Критерий, по которому делается вывод о движении тела, – изменение его положения.

Принципиально новые свойства механического движения были выявлены в XVI веке Г. Галилеем. В становлении механической картины мира именно это важнейшее открытие Г. Галилея о новом, фундаментальном свойстве движения позволило решить один из важнейших мировоззренческих вопросов, связанных с геометрией системы мира, о строении и геометрии Солнечной системы, в частности. Именно данное открытие Галилея позволило окончательно решить вопрос: какова наша планетная система – геоцентрическая или гелиоцентрическая?

Год рождения учёного – это год смерти великого Б. Микеланджело и год рождения великого В. Шекспира. Галилей – выдающаяся личность переходной эпохи от Возрождения к Новому времени. Па-

фос его творчества, как уже указывалось ранее, заключался в утверждении возможности экспериментального и математического постижения мира природы.

Экспериментальное изучение механического движения позволило ему окончательно решить тысячелетние острые дискуссии по поводу центра мира и Солнечной системы, продолжающиеся с античных времён. У античных астрономов было две точки зрения на строение Вселенной:

1. Земля неподвижна и находится в центре мира – точка зрения основана на непосредственных наблюдениях и собственных впечатлениях.

2. Земля вращается вокруг оси и движется вокруг Солнца – точка зрения основана на чисто умозрительных заключениях.

Вторая точка зрения слишком противоречила повседневным впечатлениям. Вследствие этого она не получила подробного математического обоснования и на долгое время утвердилось положение о неподвижности Земли.

Первая попытка дать общекосмологическую картину мира принадлежит Анаксимандру (представитель милетской школы): неподвижная Земля – центр Вселенной, её опоясывают три огненных кольца: солнечное, лунное и звёздное.

Пифагору (VI – V в. до н. э.) Вселенная представлялась в виде концентрических, вложенных друг в друга прозрачных хрустальных сфер, к которым прикреплены планеты. В центре мира в этой модели помещалась неподвижная Земля, вокруг неё вращались сферы Луны, Меркурия, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна. Дальше всех находилась сфера неподвижных звезд.

По Аристотелю, согласно целевой божественной причинности все элементы располагаются в определенном порядке, образуя структуру Космоса. Самый «тяжелый» элемент – земля – находится в центре мира, поэтому Земля, образуемая из этого элемента, является центром аристотелевского Космоса. Она неподвижна и шарообразна. Выше идет надлунный божественный мир, существующий по иным законам, чем земной мир, так как там все тела состоят из пятого элемента – эфира. Из него сделаны небесные сферы, к которым прикреплены планеты, Луна и Солнце, вращающиеся вместе с этими сферами

вокруг Земли. Это вращение происходит по круговым орбитам. Картину античного Космоса замыкала сфера неподвижных звезд, за которой находился первоначальник мира – Бог.

Так была сформулирована знаменитая геоцентрическая модель Вселенной. Таким образом, *геоцентрическая модель Вселенной* – модель, согласно которой в центре Вселенной находится Земля, вокруг которой по соответствующим орбитам вращаются остальные планеты.

Наиболее системно геоцентрическая модель строения мира изложена в сочинении К. Птолемея «Мегале синтаксис» («Великое построение»), дошедшее до наших дней в переводе арабов и звучащее как «Альмагест». Основными положениями геоцентрической системы мира были следующие:

1. Земля имеет форму шара и покоится в центре мира.
2. Звезды образуют шарообразный купол (небо), который вращается вокруг Земли. Размеры Земли пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до звезд.
3. Вокруг Земли движутся в порядке удаления от нее Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн.
4. Движение небесных тел происходит по окружностям с постоянной скоростью, т. е. равномерно.

Система мира Птолемея представляла собой тщательно разработанную математическую модель, которая с большой точностью (по тому времени) описывала видимые движения планет и позволяла определить их положение в будущем. Но как оказалось впоследствии эта схема не отражала действительной картины устройства мира. Со временем, когда увеличилась точность астрономических измерений, расхождения результатов наблюдений и табличных данных, вычисленных по системе Птолемея, стали значительны. К концу XV – началу XVI века система мира Птолемея настолько усложнилась, что выглядела чрезвычайно громоздкой, неточной и неудобной.

Становилось понятным, что требовалось кардинально изменить взгляд на окружающий мир. В 1543 г. вышла в свет книга польского ученого Николая Коперника «Об обращении небесных сфер». В труде изложена принципиально новая теория строения мира, разработана идея о движении Земли. Созданная им система мира называется гелиоцентрической. Центральное место отводилось Солнцу. Земля была

«переведена» в число рядовых планет, которая наравне со всеми планетами движется в пространстве вокруг Солнца и, кроме того, вращается вокруг своей оси. Коперник смело доказывал, что именно вращением Земли и её обращением вокруг Солнца можно правильно объяснить небесные явления и движение планет, кажущееся петлеобразным.

Основные положения этой теории:

- в центре мира находится Солнце;
- шарообразная Земля вращается вокруг своей оси. Это вращение объясняет кажущееся суточное движение всех светил;
- Земля, как и все другие планеты, обращается вокруг Солнца. Это обращение объясняет видимое движение Солнца среди звезд;
- вокруг Солнца и всех планет расположена сфера неподвижных звезд, но расстояние до нее много больше расстояния от Земли до Солнца.

Несмотря на кардинальное изменение в структуре мира, Коперник оставляет Солнце в центре мира, но не в центре планетарной системы. Сохраняется в его модели и сфера неподвижных звезд.

От погрешностей система мира Коперника освобождена трудами последующих ученых, в частности И. Кеплера. В дальнейшем система была развита, дополнена, обогащена новыми знаниями.

Однако главное острие первоначальных дискуссий об утверждении гелиоцентрической системы мира было связано со спорами о движении Земли как вокруг Солнца, так и вокруг своей оси. Это представление казалось абсурдным, особенно с точки зрения обыденных наблюдений.

В 1632 г. вышла в свет книга Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира – птолемеевой и коперниковой». «Диалог» – главное сочинение Галилея, итог почти 30 лет научной работы, одна из ключевых вех в копернианской революции. Книга представляет собой диалог между тремя любителями науки: коперниканцем Сальвиати, нейтральным участником Сагрето и «простаком» Симпличио, придерживающимся аристотелианских взглядов и системы мира Птолемея. Именно здесь Галилей представляет и закладывает два краеугольных камня современной динамики: принцип инерции и классический принцип относительности.

Возражения против движения Земли вокруг Солнца, производившие большое впечатление на широкую публику, были основаны на том, что все механические явления на поверхности Земли происходят так, как если бы Земля была неподвижна. Противники движущейся Земли, от лица которых выступал Симпличио, обращали внимание на то, что летящие птицы не отстают от находящейся под ними Земли, как должно было бы быть при её вращении. Почему Земля при своём движении сохраняет свою атмосферу, так и всё, что находится в атмосфере и на земной поверхности? Тяжести падают перпендикулярно, чего не должно было бы быть, если бы Земля перемещалась: предметы, которые «долго остаются в воздухе», например, облака, должны были бы предстать нашему взору в быстром движении, если бы Земля действительно вращалась. Если выпустить два одинаковых ядра из одной и той же пушки, но одно – в восточном направлении, а другое – в западном, то ядро в последнем случае должно бы преодолеть большее расстояние, ведь в то время как ядро перемещается на запад, пушка в соответствии с движением Земли должна перемещаться на восток. Но этого не происходит, следовательно, Земля неподвижна, говорит Симпличио.

Приводится им и пример с кораблем. Если на корабле, находящемся в покое, уронить камень с верхушки мачты, то камень упадет перпендикулярно к основанию мачты. Но если это случилось бы на корабле, находящемся в движении на движущейся Земле, то камень должен был бы упасть вдалеке от основания мачты, в сторону кормы. То же должно бы случиться при падении камня с высокой башни, если предположить, что Земля движется, но этого не происходит. Следовательно, Земля неподвижна. В противовес примеру с кораблем Симпличио Галилей устами Сальвиати и Сагрето доказывает ложность приводимых «опытов», опровергающих теорию движения Земли. Приводимая аргументация послужила в дальнейшем становлению и утверждению механического принципа относительности.

Обоснование принципа относительности Галилей производит на основе мысленного и реального эксперимента. Образно этот эксперимент получил название «Ковчег Галилея». Сальвиати говорит: «Уединитесь с кем-либо из друзей в просторное помещение под палубой какого-нибудь корабля, запаситесь мухами, бабочками и другими подобными мелкими летающими насекомыми; пусть будет у вас там

также большой сосуд с водой и плавающими в нем маленькими рыбками; подвесьте далее наверху ведро, из которого вода будет капать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно, как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли попадут в подставленный сосуд, и вам, бросая другу какой-нибудь предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую, если расстояния будут одни и те же; и если вы будете прыгать сразу двумя ногами, то сделаете прыжок на одинаковое расстояние в любом направлении. Прилежно наблюдайте все это, хотя у нас не возникает никакого сомнения в том, что пока корабль стоит неподвижно все должно происходить именно так. Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту и другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно... И причина согласованности всех этих явлений в том, что движение корабля обще всем находящимся в нем предметам, так же как и воздуху; поэтому-то я и сказал, что вы должны находиться под палубой...» ([URL: astrocabinet.ru/library/Galiley/Dialog\\_Ogl.htm](http://URL:astrocabinet.ru/library/Galiley/Dialog_Ogl.htm)).

Другими словами, Галилей обращает внимание на то, что движение само по себе неважно. Человек способен воспринимать только изменения в движении. Мы не замечаем движения Земли, поскольку все физические явления происходят точно так же, как если бы Земля покоилась. Равномерное прямолинейное движение и покой равноправны. Физические процессы не зависят от равномерного прямолинейного движения системы, механизм их протекания такой же, как и в системе покоящейся.

*Главный мировоззренческий вывод принципа относительности состоит в том, что на основе механических наблюдений, осуществляемых внутри определенной системы, невозможно установить, находится ли эта система в покое или в равномерном прямолинейном движении.* «Итак, основой нашего рассуждения является мысль, что, какое бы движение ни приписывалось Земле, мы, её обитатели и, сле-

довательно, принимающие участие в этом движении, не в состоянии воспринять это движение, как если бы его не было вовсе, поскольку мы соотносимся только с земными вещами» ([URL: astro-cabinet.ru/library/Galiley/Dialog\\_Ogl.htm](http://astro-cabinet.ru/library/Galiley/Dialog_Ogl.htm)).

На современном языке это означает, что механические явления в какой-либо системе происходят одинаково и независимо от того, неподвижна ли система или совершает равномерное и прямолинейное движение или иначе механические явления происходят одинаково в двух системах, движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга. Аналитически переход от законов движения, выраженных в одной системе, к законам, выраженным в другой системе, совершается с помощью простейших формул, которые называются преобразованиями Галилея. Следовательно, принцип относительности означает инвариантность (неизменяемость) законов механики по отношению к преобразованиям Галилея.

Другой важнейший принцип, касающийся движения, – принцип инерции – устанавливается Галилеем с помощью рассуждения, напоминающего доказательство от противного в математике. Опытным путем исследуя движение тел вдоль наклонной плоскости, Галилей приходит к выводу, что наклон плоскости по отношению к горизонту является причиной ускоренного движения тела, движущегося вниз, и замедленного движения тела, движущегося вверх. Отсюда следует вывод, если тело будет двигаться по неограниченной горизонтальной плоскости, то, не имея причины ускоряться или замедляться, оно будет совершать равномерное движение. Иными словами, впервые стало утверждаться, что тела не только покоятся при отсутствии внешнего воздействия, но и обладают свойством сохранять свою первоначальную скорость, если на тела не оказывается какого-либо воздействия.

То есть в путанице земных движений Г. Галилей выявил свойство тел сохранять свою скорость, если на них не оказывается какого-либо воздействия, и убирать внешние воздействия. Именно этим объясняется опыт падения камня с мачты корабля. Хотя корабль движется и как бы уходит из-под камня, тем не менее камень падает к подножию мачты. Это происходит потому, что, начиная падать, камень в горизонтальном направлении имеет такую же скорость, как и корабль. При падении он будет сохранять скорость своего горизонтального движения и следовать за кораблём.

«Диалог» Галилея имел небывалый успех. Единомышленники восторженно приветствуют Галилея, создавшего книгу, подобной которой не было в мире. В изучении природы началась новая эра. «Диалог», по словам А. Койре, не книга по астрономии или физике. Это прежде всего критическая работа, философское сочинение полемического характера. «Диалог» направлен против системы мира Птолемея и утверждает гелиоцентрическую систему мира.

Тем не менее принцип инерции, введённый Г. Галилеем, не признавался в науке около 100 лет, поскольку давал совершенно необычный ответ на вопрос: нужна ли причина для движения. Ещё со времён Аристотеля ответ был достаточно очевидным: для приведения в движение тела необходимо обязательно прикладывать силу. Этот ответ вполне согласуется с обыденными наблюдениями. Дискуссии по поводу движения Земли и закона инерции, история которого драматична и длительна, продолжались.

Так, Кеплер, внёсший значительный вклад в утверждение гелиоцентрической системы мира, ещё не принимал закона инерции в том значении, какое ему придали Декарт и Ньютон. Для Кеплера инерция тела состоит в его стремлении к покою, сопротивлении движению, т. е. в некоторой его «материальной косности», которую признавала и античная, и средневековая наука. Именно поэтому Кеплер, так же как и Аристотель, считал, что для приведения тела в движение и сохранения этого движения всякое тело, как земное, так и небесное, нуждается в двигателе. Движущая причина, или сила, необходима, согласно Кеплеру, для того, чтобы тело могло двигаться.

Иначе трактует закон инерции Декарт, а за ним и Ньютон. Сформулированный Декартом закон инерции гласит: каждая вещь пребывает в том состоянии, в каком она находится, пока ничто ее не изменит. В этом отношении состояния покоя и движения равноправны. При этом каждая частица материи в отдельности стремится продолжать свое движение исключительно по прямой. У Ньютона утверждается, что врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Приняв такое новое истолкование закона инерции, уже не нужно допускать силу, для того чтобы

объяснить движение тела. Если тело уже было приведено в движение, то при отсутствии сопротивления оно будет продолжать свое движение до бесконечности без всякого двигателя. Таким образом, окончательно принцип инерции вводится в корпус физической науки именно в «Началах» Ньютона. Не вдаваясь в рассмотрение истории утверждения этого принципа, обратим внимание, что физики даже XX века характеризовали его как «самый безумный физический закон».

Согласно принципу инерции Галилея – Ньютона пример с камнем, падающим с мачты корабля, тривиален. В горизонтальном направлении на камень не действует никакая сила, не оказывается физическое воздействие, поэтому согласно первому закону Ньютона его горизонтальная скорость такая же, как и у корабля, и он падает у подножия мачты.

Тем самым в механической картине мира трудами Г. Галилея и И. Ньютона действительно удалось сказать принципиально новое о том, что старо, как сам мир. Были выявлены важнейшие, фундаментальные свойства движения, содержание которых было научно зафиксировано в принципе инерции и механическом принципе относительности, благодаря которым произошла не только физическая, но и астрономическая революция (утверждение гелиоцентрической системы мира).

### **Вопросы для контроля**

Что называется механическим движением?

Какому учёному удалось выявить новые принципиальные свойства механического движения?

Что представляет собой геоцентрическая система мира?

Что послужило основой утверждения гелиоцентрической системы мира?

Каково содержание принципа инерции?

О чём говорит принцип относительности?

Что такое «ковчег Галилея», что обосновывается на опыте с ковчегом?

Каково мировоззренческое значение принципов относительности и инерции?

## § 5. Взаимодействие в механической картине мира и концепция дальнего действия

Счастлив Ньютон, ибо систему мира  
можно установить лишь однажды.

*Л. Лагранж*

*Взаимодействие* – всеобщая форма связи тел или явлений, осуществляющаяся в их взаимном изменении. В механике взаимодействие непосредственно увязано с понятием силы. Все механические понятия, законы и принципы так или иначе связаны с понятиями силы и взаимодействия.

Ньютоном в «Началах» даётся следующее определение силы: «Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения» [10, с. 18]. Далее даётся пояснение, в котором Ньютон утверждает, что сила проявляется только в действии и при прекращении действия в теле не остаётся, т. е. это не какая-то особая субстанция. Тело продолжает находиться в новом механическом состоянии только вследствие своей инерции.

Введение понятия силы явилось подлинно революционным шагом в естествознании, физике и механике. Ньютон заставил, по словам С. И. Вавилова, все естественные науки мыслить по-своему, «классически», как теперь говорят. На языке Ньютона мыслят все последующие поколения. На всём естествознании лежит отпечаток его мысли. Без него наука развивалась бы иначе. Можно было бы, как показал Г. Герц, обойтись без понятия силы и сформулировать законы природы без этого понятия. Герц как раз и разработал механику без понятия силы, но научный мир этого не принял. О физике Герца без понятия силы упоминается лишь как об интересном историческом факте.

В своём труде И. Ньютон углубляет представление о силе и впервые подчёркивает положение об отсутствии одностороннего действия одного тела на другое и утверждает мысль о существовании именно взаимного действия тел друг на друга. Это положение сформулировано в виде третьей аксиомы движения, известной сейчас как третий закон Ньютона: «Действию всегда есть равное и противополо-

ложное противодействие, иначе – взаимодействие двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны» (заметим, в настоящее время закон формулируется несколько иначе).

На основе данного закона удалось объяснить самые различные виды механического взаимодействия и обосновать, объяснить и прогнозировать все возможные виды как равномерных, так и неравномерных движений тел на твёрдой поверхности, в жидких и газообразных средах. Стал понятен механизм движений человека, повозок, животных, птиц, кораблей и всех макротел. Картина движущегося мира Земли стала понятной и целостной.

В этом же труде Ньютон впервые начинает говорить о существовании взаимодействия тел не только при непосредственном контакте или соударении, но также и на расстоянии. Об этом утверждает знаменитый закон всемирного тяготения – новая эпоха в мировоззрении Нового времени.

Первые мысли о тяготении планет к Солнцу и Луне высказывал уже Кеплер. Однако у Кеплера тяготение интерпретируется совсем не так, как у Ньютона. Кеплер действительно совершил важный шаг к механическому объяснению небесных движений планет, проложив тем самым путь от астрономии Птолемея к истинной небесной механике. На протяжении всего средневековья астрономия объясняла движение небесных тел с помощью аристотелевских совершенных форм (круговых для планет). Небесные тела мыслились как прикрепленные к небесным сферам и движущиеся вместе с ними. В «Новой астрономии» (1609) Кеплер отказывается от понимания кругового движения небесных тел. Он пишет, что когда он сообразил, что движущая причина планет ослабевает по мере их удаления от Солнца, подобно тому, как с удалением от Солнца ослабевает свет, то заключил, что эта причина должна быть чем-то телесным. Такой причиной Кеплер считал взаимное притяжение тел, которое он рассматривает по аналогии с притяжением магнита. Земля притягивает Луну и, в свою очередь, притягивается ею. Но природа силы тяготения Кеплеру при этом не ясна.

Возникла проблема объяснения причины криволинейных движений как в земных условиях, так и на небе. Декарт для объяснения криволинейных – и круговых в том числе – движений вводит вихри, Ньютон же – силу тяготения. Разница при этом очень существенная:

по Декарту, движущееся тело отклоняется от прямолинейной траектории из-за *механического препятствия*, оказываемого повсеместно заполненной средой, которая *непосредственно* воздействует на движущееся тело. По Ньютону, это искривление траектории происходит в силу притяжения одного тела другим, обладающим большей массой, и, таким образом, производится силой, действующей на расстоянии. Другими словами, тела, движущиеся по кривым линиям, побуждаются совершать свой криволинейный путь какою-либо постоянно действующей силой. Так как планеты обращаются по криволинейным орбитам, то необходимо существование некоторой силы, действиями которой они непрестанно уклоняются от касательных. Этой силой и является сила тяготения.

Таким образом, мысль о тяготении высказывалась целым рядом учёных. О ней упоминается в высказываниях И. Кеплера, Д. Борелли, Р. Гука, Г. Галилея, Р. Декарта. Фактически идея о существовании тяготения планет к Солнцу носилась в воздухе, но для подлинного развития этой идеи и математического её выражения в виде фундаментального и всеобщего природного закона нужен был талант и интуиция Ньютона.

Известная легенда о яблоке Ньютона лишь подтверждает глубину прозрений этого гения. Действительно, почему яблоко упало вниз, а не в сторону или вверх? Если это притяжение Земли, то как далеко простирается действие этой силы? Достигает ли это действие Луны и не подобна ли Луна в таком случае гигантскому яблоку, которое притягивается к Земле с такой силой, которая мешает Луне улететь в космическое пространство.

Впервые мысль о том, что предметы падают на Землю под действием той же силы, которая удерживает на околоземной орбите Луну, и что именно эта сила сообщает Луне центростремительное ускорение, возникла у Ньютона ещё в юности. Однако первоначальные расчёты не подтвердили этой гипотезы. Впоследствии оказалось, что данные о размерах Земли были неточными. Лишь позднее Пикар заново измерил градус земного меридиана, и его размеры были уточнены. Величина, найденная Пикаром, оказалась именно такой, которая позволила Ньютону говорить о тождестве силы тяготения и гравитационной силы.

Но в таком случае и все другие планеты, двигаясь вокруг Солнца, должны удерживаться на орбитах силами, сходными с земным притяжением.

Тяготение, по Ньютону, есть сила, которой наделены все тела без исключения как на Земле, так и в космосе. По его мнению, подобно тому, как нельзя представить себе тело, которое бы не было протяженным, подвижным и непроницаемым, так нельзя представить и тело, которое бы не было тяготеющим, т. е. тяжелым. Именно сила тяготения тел есть та причина, с помощью которой, по убеждению Ньютона, можно объяснить, а не только математически описать явления природы. Это та последняя причина, к которой восходит всякое физическое, или механическое, познание природы. Однако на таких больших расстояниях степень влияния этой силы должна быть иной и зависеть от расстояния. Сравнив период обращения некоторых планет с их расстоянием до Солнца, Ньютон нашёл, что сила уменьшается обратно пропорционально расстоянию в квадрате. Закон всемирного тяготения имеет вид  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ . Тем не менее формулировка закона и его математическая запись долгое время оставались предметом обсуждений и жарких естественнонаучных и философских дискуссий. На основе осмысления этой формулы в естествознание вошла и утвердилась *концепция дальнего действия*.

Сразу же после открытия И. Ньютоном закона всемирного тяготения возникли вопросы в большей степени философского содержания: каким образом и почему физические тела, обладающие массой, действуют друг на друга через пустое пространство без каких-либо посредников? Поскольку в формулу не входит время, т. е. сила тяготения не зависит от времени, приходилось признавать дальнего действующий характер сил тяготения. Иными словами, передача гравитационного взаимодействия между тяготеющими телами, разделёнными громадными расстояниями, происходит мгновенно, т. е. такое взаимодействие осуществляется с бесконечно большой скоростью. Такое предположение составляет сущность *концепции дальнего действия*, допускающей действие вне времени и пространства.

Это резко противоречило обыденным наблюдениям и вытекающей отсюда концепции ближнего действия, согласно которой тело может действовать только на своё непосредственное окружение. Для осу-

ществления действия на расстоянии необходимы какие-либо посредники, осуществляющие контакт между взаимодействующими телами.

Да и сам И. Ньютон считал невероятным и даже невозможным подобного рода взаимодействие тел. Поэтому сила тяготения, как подчеркивают Ньютон и его последователи, в рамках механики объяснена быть не может. «Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю», — именно таков его известный афоризм.

Весьма образно описывает парадоксальность сложившейся ситуации математик XIX века К. Нейман: «Предположим, что какой-нибудь полярный исследователь рассказал бы нам о загадочном море, куда ему удалось проникнуть. Чудесное зрелище предстало бы перед нами. Среди моря он увидел две плавающие ледяные горы, достаточно удалённые друг от друга, — одна большая, другая поменьше. Из глубины большой горы раздаётся голос, приказывающий повелительным тоном: “Приблизься на 10 футов”. И в тот час же меньшая ледяная гора, исполняя приказание, приблизилась на 10 футов к большой. И снова большая скомандовала: “Ещё на 6 футов ближе”. И другая вновь немедленно выполнила приказание. И так звучал приказ за приказом, и меньшая гора в непрерывном движении усердно старалась немедленно и точнейшим образом выполнить приказ.

Несомненно, мы бы отнесли такой приказ к области басен. Но не будем торопиться с насмешками. Представление, которое нам здесь кажется таким удивительным, есть то самое, на котором основывается самая совершенная часть естествознания... Действительно, в мировом пространстве непрерывно звучат такие приказы, исходящие от различных небесных тел: солнца, планет, лун, комет. Каждое мировое тело прислушивается к приказаниям, возвещаемым остальными телами, всемерно стараясь почтительнейшим образом выполнить это приказание...

Конечно, эти приказы отдаются безмолвно, и так же безмолвно они выполняются. И. Ньютон назвал эту игру приказаний и исполнений другим именем. Он просто говорит о взаимном притяжении, которое господствует между телами. Однако дело от этого не меняется. Ибо указанное взаимодействие состоит в том, что одно тело отдаёт приказания, а другое им следует» ([URL: physiclib.ru>books/item/f00/s00/z0000058...](http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000058...)).

После Ньютона концепция дальнего действия получает широкое распространение в физике, хотя сам Ньютон понимал, что введенные им дальнедействующие силы тяготения являются лишь формальным приёмом, позволяющим дать верное в некоторых пределах описание наблюдаемых явлений.

Исторический экскурс показывает, что он в течение многих лет размышлял над природой силы тяготения, но не мог дать однозначного ответа на этот вопрос. Первоначально Ньютон придерживался гипотезы всемирного эфира, с помощью которой он объяснял в то время и природу тяготения, при этом не допуская действия на расстоянии и тем самым не отходя слишком далеко от механистических принципов картезианства. Тяготение Ньютон рассматривал тогда как универсальную силу, которая, по всей видимости, является притяжением, следующим закону обратных квадратов, хотя фактически она возникает при контактном взаимодействии между эфиром и материей. Механизм действия эфира на плотную материю Ньютон представлял себе примерно так: любое тело – планеты или Солнце – является носителем циклического процесса, преобразующего эфир: поток эфира постоянно падает на Землю и проникает в ее части, плотность эфира возрастает по мере потери им количества движения в процессе взаимодействия с материей Земли. Сгущенный эфир вытекает из Земли, образуя атмосферу, а затем рассеивается в эфирных пространствах, принимая первоначальную форму.

С помощью эфира Ньютон объяснял не только гравитационное притяжение Земли, но и химические процессы, и световые явления, и явления электростатические, а также теплоту, звук и ряд отправлений живого организма.

Таким образом, с помощью гипотезы эфира И. Ньютон попытался дать объяснение всем видам физических явлений, тем самым стремясь создать единую картину мира. Еще до написания «Начал» Ньютон с помощью гипотезы эфира решал ту задачу, которую в «Началах» у него выполняет всемирное тяготение. Даже после того как Ньютон отказался от гипотезы эфира в своей небесной механике, он все же не отбросил эту гипотезу совсем. Во втором издании «Начал» в заключительном «Общем поучении» у Ньютона вновь появляется понятие эфира. Отказ от эфира в физике произошёл гораздо

позже при утверждении электромагнитной картины мира и введении понятия электромагнитного поля.

Переоценить значение закона всемирного тяготения невозможно. Это тот закон, который не только объяснил архитектуру Солнечной системы и Вселенной в целом, но и позволил ответить на целый ряд чрезвычайно важных мировоззренческих и физических вопросов:

- объяснена структура гравитирующей Вселенной;
- объяснено поведение галактик и звёздных скоплений;
- открыта неизвестная планета Солнечной системы – Нептун («планета, открытая на кончике пера»);
- открытие Гершелем двойных звёзд;
- выяснен механизм образования планет и звёзд, происхождение Солнечной системы;
- объяснены Кеплеровы законы эллиптического движения планет;
- выявлено единство законов движения планет и комет (кометы были включены в состав Солнечной системы);
- объяснена сплюснутость, сжатость планет;
- вычислены массы Солнца, звёзд и планет («взвешивание планет и звёзд»);
- объяснено происхождение макротел («мельчайшие частицы материи могут сцепляться посредством сильнейших притяжений, составляя большие частицы,... при сцеплении таких частиц составляются тела заметной величины»);
- объяснено происхождение морских и океанических приливов и отливов.

Это далеко не весь перечень вопросов, ставших понятными после открытия закона всемирного тяготения. Мир в целом стал понятным и прогнозируемым; перед глазами встала грандиозная картина мира, что и вызвало восхищение современников Ньютона. Это восхищение образно, столетием спустя, выражено одним из величайших математиков XVIII века Л. Лагранжем следующим образом: «Ньютон был величайшим гением из всех, когда-либо существовавших, и самый счастливый, ибо только однажды дано человеку открыть систему мира» ([URL: astro-cabinet.ru/library/kov/...копия](http://astro-cabinet.ru/library/kov/...копия)).

## Вопросы для контроля

Что такое взаимодействие?

Какой закон говорит об отсутствии одностороннего действия тел?

Каково содержание концепции дальнодействия?

По каким причинам утвердилась концепция дальнодействия?

Что необычного в концепции дальнодействия?

Каково значение закона всемирного тяготения для естествознания?

## § 6. Пространство и время в механической картине мира

Многое в этом мире пришлось открывать.

Пустоту – так же, как и воздух.

*А. Климишин*

Первая физическая задача, стоящая перед человеком во все времена, заключается в том, чтобы зафиксировать место и время, соответствующее каждому природному событию. Это позволяет выделить событие, явление, процесс из хаоса существования.

Все материальные тела имеют протяжённость (длину, размеры) и располагаются определённым образом относительно друг друга. Все события имеют определённую последовательность и происходят позже или раньше, имеют определённую длительность. Эти наиболее общие свойства материальных тел в течение долгой практической деятельности закрепились и отразились в сознании человека в виде понятий «пространство» и «время». Однако понимание содержания данных понятий утвердилось далеко не сразу.

В механической картине мира вопросы о пространстве и времени были самыми острыми и спорными и решались в связи с дискуссией об относительности покоя и движения, а именно, с введением понятия абсолютной системы отсчёта.

Существенным признаком, по которому делается вывод о покое или движении тела, стоит считать изменение его местоположения (координаты). Поскольку выбор тела отсчёта достаточно условен, то механическое состояние наблюдаемого тела в один и тот же момент времени относительно разных тел отсчёта различно, т. е. покой и движение относительны. Поэтому при решении любой задачи о движении прежде всего должна быть указана та система отсчёта, относи-

тельно которой будет рассматриваться механическое состояние наблюдаемого тела. Следовательно, при изучении любого механического движения мы рассматриваем два тела. Одно принимается как база, основа для определения положения другого. Оба тела равноправны; каждое из них в случае необходимости можно рассматривать как тело отсчёта и связанную с ним систему координат.

В связи с этим возник один из глобальных и фундаментальных физических вопросов – вопрос физической равноправности различных систем отсчёта. Решение данной проблемы заняло достаточно долгое время и потребовало осмысления целым поколением учёных понятий «пространство», «время», «абсолютная и неабсолютная система отсчёта». Вопрос о системе отсчёта – это вопрос вопросов, это фокус многих физических проблем. Его решали Р. Декарт, Г. Галилей, И. Ньютон, А. Эйнштейн. Именно попытки решить данную проблему и привели к созданию классических и современных теорий (классической механики, специальной, общей теории относительности) и эволюции физических картин мира и естествознания в целом.

В своих «Началах» Ньютон утверждает о существовании абсолютного движения тел, которое существует относительно абсолютной системы отсчёта, т. е. о возможности истинного определения, по его представлениям, механического состояния тела. Помимо модели материальной точки Ньютоном в систему классической механики вводятся еще два идеализированных объекта, образующих абсолютную систему отсчёта – это абсолютные пространство и время.

Абсолютные пространство и время обладают рядом важнейших физических свойств.

#### *Абсолютное пространство*

1. Абсолютность существования.
2. Однородность.
3. Изотропность.

#### *Абсолютное время*

1. Абсолютность существования.
2. Однородность.
3. Абсолютность одновременности.
4. Равномерность хода времени (абсолютность хода времени).

Одновременно им вводятся и представления об относительных пространстве и времени. Относительные пространство и время по своим свойствам отличаются от свойств абсолютных пространства и времени.

Вводя понятия абсолютных пространства и времени, Ньютон вступает в полемику и с картезианцами (Декартом и его последователями), и с атомистами, и с Лейбницем. Что же касается относительного движения, с которым одним только и имели дело картезианцы и атомисты, то его Ньютон допускает только на уровне обыденных представлений, которые в конечном счете имеют дело с кажущейся, а не истинной реальностью. «Время, пространство, место и движение, – пишет Ньютон, – составляют понятия общеизвестные. Однако необходимо заметить, что эти понятия обыкновенно относятся к тому, что постигается нашими чувствами. Отсюда происходят некоторые неправильные суждения, для устранения которых необходимо вышеприведенные понятия разделить на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные» [10, с. 30]. В «Началах» Ньютоном даётся сравнительная характеристика этих понятий.

«I. Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся, или обыденное время, есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как то: час, день, месяц, год.

II. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остаётся всегда одинаковым и неподвижным. ... По виду и величине абсолютное и относительное пространства одинаковы, но численно не всегда остаются одинаковыми. Так, например, если рассматривать Землю подвижной, то пространство нашего воздуха, которое по отношению к Земле остаётся всегда одним и тем же, будет составлять то одну часть пространства абсолютного, то другую, смотря по тому, куда воздух перешёл, и, следовательно, абсолютно сказанное пространство непрерывно меняется.

III. Место есть часть пространства, занимаемая телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным. Я говорю «часть пространства», а не положение тела и не объёмлющая его поверхность. Для равнообъёмных тел места равны, поверхности же от несходства формы тел могут быть и неравными. ...

IV. Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, относительное – из относительного в относительное же. ... Абсолютное время отличается в астрономии от обыденного солнечного времени уравнением времени. Ибо естественные солнечные сутки, принимаемые при обыденном измерении времени за равные, на самом деле между собою неравны. Это неравенство и исправляется астрономами, чтобы при измерениях движений небесных светил применять более правильное время. Возможно, что не существует (в природе) такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться с совершенною точностью. Все движения могут ускоряться или замедляться, течение же абсолютного времени изменяться не может. Длительность или продолжительность существования вещей одна и та же, быстры ли движения (по которым измеряется время), медленны ли или их совсем нет, поэтому она надлежащим образом и отличается от своей доступной чувствам меры, будучи из неё выводимой при помощи астрономического уравнения. ... Во времени всё располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве – в смысле порядка положения. По самой своей сущности они суть места, приписывать же первичным местам движения нелепо. Вот эти-то места и суть места абсолютные, и только перемещения из этих мест составляют абсолютные движения» [10, с. 30 – 32].

Как уже указывалось, Ньютоново понятие пространства кардинально отличается как от картезианского, так и от лейбницава. По Декарту, «Пространство, или внутреннее место, разнится от телесной субстанции, заключённой в этом пространстве, лишь в нашем воображении. В действительности же протяжение в длину, ширину и глубину, составляющие пространство, составляют и тело». То есть материя, по Декарту, тождественна пространству.

И. Ньютоном пространство представляется как своего рода «вместилище» всего, что существует в физическом мире. Он абсолютизирует это реальное существование пространства и времени до самостоятельного, независимого от материальных вещей, бытия.

В отличие от Лейбница, не признававшего пространства как некоторой особой реальности, не зависимой от существующих вещей, Ньютон настаивал на необходимости различать пространство зависимое (относительное) и независимое (абсолютное).

В некотором смысле И. Ньютон солидарен в этом вопросе с атомистами, которые признавали необходимым допустить пустоту, в которой и движутся атомы, т. е. пустота понималась ими как вместительность материи. Однако, признавая пустоту, современные Ньютону атомисты в отличие от него не допускали возможности дальнего действия, отождествляя пустоту с небытием подобно античным атомистам. Как и картезианцы, атомисты XVII – XVIII веков признавали только непосредственную передачу движения посредством толчка, удара, столкновения атомов и в этом смысле тоже были противниками ньютонианцев. Пустота у атомистов была синонимом *отсутствия* («*ничто*»), в то время как у Ньютона абсолютное пространство было синонимом присутствия некоторого *метафизического* (сверхфизического) начала, которое и делает возможным тяготение как *действие на расстоянии*.

Абсолютные пространство и время у Ньютона необходимы и для введения важнейшего понятия его физики – понятия силы. Сила в научной программе Ньютона есть причина *реального движения*. А реальное движение – это движение в абсолютном пространстве. Тело, которое движется в абсолютном пространстве, т. е. для которого абсолютное пространство является системой координат, обладает абсолютным движением, и для изменения состояния такого тела требуется приложение силы. «Истинное абсолютное движение не может ни произойти, ни измениться иначе, как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительное движение тела может быть и произведено, и изменено без приложения сил к этому телу» [10, с. 30 – 32].

Истинное, или абсолютное, движение тела может быть, по Ньютону, только одно, в то время как относительных движений может быть как угодно много – в зависимости от того, какое из окружающих тел принять за тело отсчета.

Таким образом, введение абсолютной системы координат является для Ньютона методологической основой для построения всей механической картины мира. Три основных закона движения, сформулированных И. Ньютоном, имеют в качестве своей *философской* предпосылки его учение об абсолютном пространстве, времени и движении, что и даёт ему возможность создать систему теоретических и методологических принципов, отменивших картезианскую научную

программу. «Доказать существование истинного движения и абсолютного пространства – такова программа «Начал», – пишет М. Джеммер. – « Все успехи и открытия Ньютона в области физики имеют подчиненное значение по сравнению с философским понятием абсолютного пространства» (URL: [lib.philosophical.ru/gaid/02/7.html](http://lib.philosophical.ru/gaid/02/7.html)).

Здесь имеется ещё один чрезвычайно существенный момент. Равномерное прямолинейное движение, т. е., по Ньютону, движение по инерции требует некоторой системы отсчета, или, как мы говорим сегодня, инерциальной системы отсчёта. Такая инерциальная система у Ньютона – абсолютное пространство. Однако в отличие от Декарта и Гюйгенса, которые считали все инерциальные системы в принципе равноправными, поскольку они рассматривали всякое движение как относительное, Ньютон считал истинным только движение, совершающееся в абсолютном пространстве, имеющим центр системы мира. Центр системы мира находится в покое. Таким мировым центром Ньютон считает общий центр тяжести Земли, Солнца и всех планет. Утверждение Ньютона о том, что центр мира находится в покое, невозможно было подтвердить никакими экспериментами. Это утверждение полностью держится только на его убеждении в существовании абсолютного пространства.

Таким образом, свойство абсолютности пространства и времени означает их независимость от внешних материальных объектов, их самостоятельное и независимое существование. Иными словами, пространство и время вводились Ньютоном как самостоятельные физические субстанции – *субстанциональная теория пространства и времени*.

Не менее важны свойства однородности и изотропности пространства. Однородность – одно из ключевых понятий в классической механике, означающее тождественность множества объектов во всей области определения. **Однородность пространства** исходит из представлений об отсутствии особых выделенных точек пространства, тождественность, равнозначность и одинаковость свойств точек пустого пространства. *Это означает идентичность, одинаковость свойств всех точек такого пространства.*

Однородности пространства соответствует симметрия относительно переноса системы координат – любой физический процесс протекает точно так же, если осуществить его в любой другой точке пространства. То есть если замкнутую систему тел перенести из одно-

го места пространства в другое, сохранив в ней те же условия, в каких они находились в прежнем положении, то это не отразится на ходе всех последующих явлений и получаемых результатах. Поэтому проводимый эксперимент не зависит от нашего выбора тела отсчета (его координаты). К примеру, измерим период колебаний маятника и полученный результат обозначим как  $T_1$ . Теперь перенесем маятник в соседнюю комнату (лестничную площадку, сквер и т. п.) и проведем то же измерение. Результат запишем как  $T_2$ . Оказывается, что  $T_1 = T_2$ , т. е. исход эксперимента не зависит от нашего положения, это и есть проявление однородности пространства. Итак, однородность означает, что перенос системы отсчета в любую другую точку не влияет на результат измерений. Иначе, физические законы для любых точек пустого пространства одинаковы, они не меняются с изменением координаты тела.

В том же смысле надо понимать и *изотропию пространства*, только вместо переноса замкнутой системы надо говорить о её повороте в пространстве на любой угол.

Любые направления в пустом пространстве тождественны, равнозначны, т. е. все свойства различных пространственных направлений совершенно одинаковы; каких-то особых направлений в пространстве нет. Инвариантность (неизменяемость) физических законов к поворотам обычно выражают термином «изотропность пространства».

Закон инерции, введенный Ньютоном, предполагает бесконечное однородное и изотропное пространство. Движение по инерции, или равномерное прямолинейное движение, – фактически физическое следствие однородности и изотропности пространства. В абсолютном пространстве тело, движущееся с определенной скоростью, будет эту скорость сохранять при переходе в другие точки пустого пространства вдоль данного направления, поскольку свойства всех точек этого направления одинаковы. Как уже оговаривалось, сила нужна только для того, чтобы траектория изменилась, стала криволинейной.

Таким образом, закон инерции, введенный Ньютоном, является теоретическим, вернее, теоретико-методологическим законом, следствием существования абсолютной системы отсчета – абсолютного пространства и времени. При таком подходе были сняты все противоречия и аргументы против принципа инерции Г. Галилея, введенного им на основе мысленного эксперимента, споры о котором не прекращались до «Начал» Ньютона.

Более того, закон сохранения энергии – это следствие однородности времени, закон сохранения импульса – следствие однородности пространства, а закон сохранения момента импульса – следствие изотропии пространства. Это означает, что перечисленные в нём законы сохранения можно получить из второго закона Ньютона, если к нему присоединить свойства симметрии пространства и времени, а именно: однородность пространства и времени, а также изотропию пространства.

Свойства однородности и изотропности пространства значимы не только для науки и учёных, проводящих опыты в физических лабораториях, эти свойства не менее важны для обыденного человеческого бытия. Чтобы ощутить важность этих свойств, попробуем вообразить, что было бы, если бы физические законы менялись в результате пространственных перемещений. Вы переезжаете в другой город или квартиру и обнаруживаете, что телевизор, стиральная машина, кофемолка (любые другие бытовые приборы) перестали работать. При перестановке больших напольных часов в другую комнату они перестают показывать точное время. Спортивные результаты, полученные в Токио, оказываются недостижимыми в Москве и т. п. Автомобиль, сделанный в Германии, не может быть использован в Англии и других странах. Другими словами, в каждом месте земного шара существовали бы собственные природные законы. А это означало бы невозможность торговли, путешествий и переезда в любое другое место в городе и на земном шаре в целом.

*Аналогично, если поворот и перемещение любой технической установки в любом другом направлении сказывались бы на исправности её работы, то передвижение на любых видах транспорта (автомобильного, железнодорожного, лошадях и т. п.) на земной поверхности и воздушного транспорта (самолётов, вертолетов и т. п.) в трёхмерном пространстве оказалось просто невозможным. Повороты в пространстве и на поверхности приводили бы к изменению протекания физических законов. А это означало бы возможность движений только в одном направлении.*

Свойства времени, введённые Ньютоном, также обладают важнейшими свойствами, как и пространство. Первое из них – **абсолютность времени**. Как уже указывалось, Ньютон в отличие от своих современников утверждает существование времени самого по себе как

второй компоненты абсолютной системы отсчёта. *Оно субстанционально и не связано с какими-либо материальными процессами.* Важность абсолютной системы отсчёта уже была рассмотрена. Абсолютность времени математически выражается в инвариантности уравнений ньютоновской механики относительно преобразований Галилея.

Что касается *однородности времени*, то оно понимается как *равноправие всех моментов времени*. Однородность времени означает независимость физических законов от сдвига во времени: опыт, проведенный вчера и сегодня, год, столетие или неделю назад, даёт одинаковый результат. Иначе из однородности времени следует, что два одинаковых опыта, поставленных в разное время, дадут один результат. Одни и те же опыты дают одинаковый результат вне зависимости не только от того, где они проводятся, но и когда, в какой момент времени. И если в два любые момента времени все тела замкнутой системы поставить в совершенно одинаковые условия, то, начиная с этих моментов, явления в ней будут протекать совершенно идентично.

Не будь этих свойств однородности, установленный физический закон в Минске был бы несправедлив в Москве, а открытый сегодня в том же месте мог бы быть несправедлив завтра. Таким образом, однородность времени – это тождественность всех временных точек (мгновений времени) на временной оси. Следствием однородности времени считается закон сохранения энергии.

*Абсолютность одновременности* означает, что в механической картине мира исходят из существования единого мирового времени для всей Вселенной.

Одновременность – существование разных событий в один и тот же момент времени. В классической физике признавалась абсолютная одновременность событий, протекающих в сколь угодно удаленных друг от друга точках мирового пространства и в разных системах отсчёта. Здесь явно прослеживается связь с одной из фундаментальных идей классической механики – идеей дальнего действия, которая связана именно с представлением об абсолютности, одновременности двух событий. Любые два события, происходящие одновременно в одной системе отсчета, будут также одновременными и в любой другой системе. Именно это обстоятельство даст возможность связывать два со-

бытия как происходящие одновременно независимо от того, кто и как их наблюдает, т. е. интерпретировать временную связь двух событий как объективную.

Данное представление не противоречит обыденным представлениям, отражённым в нормах бытового языка. Достаточно часто фразы строятся именно в таком временном формате. Например: в то время, когда ... (указывается событие и место события), в ... (указывается другое место) произошло ... (указывается другое событие). (Когда я был на лекции в институте, дома мой брат .....).

Отсюда дополнительно следует, что все события мироздания однозначно делятся на прошедшие, настоящие и будущие. Подобные представления оставались общепринятыми достаточно долго, вплоть до разработки специальной теории относительности, когда появилась идея о необходимости их экспериментальной проверки, исходящей из того, что должен существовать способ синхронизации часов, находящихся в разных точках пространства. Возникшая проблема была связана с тем, что представления об абсолютной одновременности и однозначном делении всех событий на прошедшие, настоящие и будущие оказываются эмпирически достоверными только при условии, что взаимодействие между событиями происходит с бесконечной скоростью. При любых конечных скоростях взаимодействия между событиями появляются классы событий, между которыми не существует отношения «раньше», «позже», и характер временных отношений между ними оказывается неопределённым. Однако это произошло только в XX столетии.

*Равномерность хода времени* (абсолютность хода времени). Время, введённое Ньютоном, понималось равномерно текущим. Вернувшись к первоначальному Аристотелю определению времени как меры движения, Ньютон утверждал, что его ход равномерен и синхронен во всех точках пространства и ни от чего не зависит. Часы, по Ньютону, идут совершенно одинаково во всех уголках Вселенной, начиная с того самого мгновения, когда их запустил Создатель. «Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и в самой своей сущности, – писал Ньютон, – без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью» [10].

Оно идет сразу и везде во всей Вселенной единообразно, синхронно и выступает как независимый от материальных объектов процесс длительности. В «Началах» утверждается, что все движения могут ускоряться или замедляться, течение же абсолютного времени измениться не может. Ходу времени подчиняются все тела природы, все физические явления. Но сами эти тела и явления не оказывают никакого воздействия на ход времени. Длительность или продолжительность существования вещей одна и та же, быстры ли движения (по которым измеряется время), медленны ли или их совсем нет. Иначе, двое часов, имеющих одинаковый ход и приведенные однажды в соответствие друг другу, показывают одно и то же время независимо от того, покоятся они или движутся.

Даже если его нечем измерять, абсолютное время все равно существует и течет идеально равномерно. Любые измерения только приближаются в той или иной степени к абсолютному времени, а то время, которое дают реальные часы с их отнюдь не идеальной точностью, Ньютон обозначает эпитетами — «относительное», «кажущееся», «обыденное». Ход времени всюду и везде в мире одинаков, одинаково равномерен в прошлом, настоящем и будущем.

Роль соглашения о равномерности течения времени выполняет первый закон Ньютона: равными принимаются промежутки времени, за которые тело, не участвующее во взаимодействии с другими телами, проходит равные расстояния. (W. Tompson, P. G. Tait. *Natural philosophy*. Cambridge, 1890).

Существуют и другие характеристики времени. Основное свойство абсолютного времени Ньютона – быть всегда и везде одной и той же длительностью. По Ньютону, время простирается от настоящего неограниченно назад в прошлое и неограниченно вперед в будущее. Время обладает одним измерением: направленность времени от прошлого к будущему, «стрела времени» (согласно более поздней концепции Эддингтона). Ответ на вопрос, почему время течёт только в одном направлении, был получен только тогда, когда были сформулированы законы термодинамики. Из второго начала термодинамики следовало, что энтропия – мера беспорядка системы – во всех реальных процессах может только увеличиваться. На этом основании А. Эддингтон сформулировал следующий закон: «Ничто в статистических

свойствах совокупности не может выделить направление времени, если этого не может сделать энтропия».

Промежутки времени отмеряются, складываются и вычитаются как отрезки евклидовой прямой. Промежутки времени измеряются часами, причем роль последних может выполнять любая система, совершающая повторяющийся процесс.

Из уравнений движения, сформулированных Ньютоном, вытекало и другое свойство: уравнения классической механики оказались нечувствительными к направлению времени. В них не изменится ничего, если время начнёт течь в обратную сторону. Математические уравнения механики Ньютона не изменяют своего вида при смене знака времени на противоположный. Как сейчас говорят, они симметричны относительно обращения времени, т. е. время в классической механике обратимо. Таково абсолютное время классической механики.

Современники не без сопротивления приняли идею И. Ньютона об абсолютном времени со всеми его характеристиками. С резкой критикой выступили Г. Лейбниц, Дж. Беркли. Позднее И. Кант объявил время субъективной формой, необходимой для познания объективного мира. По А. Шопенгауэру, время – это форма мышления, воли, а по К. Марксу – форма существования материи. Претерпели существенные изменения представления о пространстве и времени в связи с возникновением электродинамической картины мира.

### **Вопросы для контроля**

Что представляет собой абсолютная система отсчёта по Ньютону? Почему она была введена?

Что означает абсолютность пространства?

В чём заключается свойство однородности пространства?

В чём заключается свойство изотропности пространства?

Какое значение имеют для жизни человека свойства пространства?

Что означает абсолютность времени?

В чём заключается свойство однородности времени?

Как необходимо понимать существование единого мирового времени Вселенной?

Что представляет собой свойство равномерности хода времени?

Какое значение имеют свойства времени для жизни человека?

## § 7. Причинность (детерминизм) в механической картине мира

Подыскивать приходится причины  
всему, что совершается на свете.

*В. Шекспир*

Проблема причинности (детерминизма) занимает важное место в естествознании и во все эпохи вызывала пристальное внимание учёных и философов. В настоящее время под *детерминизмом* понимается философская концепция, признающая объективную закономерность и причинную обусловленность всех явлений природы и общества. *Причинность – всеобщая закономерная связь, когда одно явление порождает другое.*

Понятие причинности кажется настолько само собой разумеющимся, что часто вызывает затруднения при его формулировке. В то же время исторический экскурс показывает, что содержание данной категории утвердилось далеко не сразу и в разные эпохи трактовалось совершенно по-разному.

В науке известны различные виды взаимосвязей:

- функциональные;
- временные;
- причинно-следственные.

Зарождение представлений о наличии причинно-следственных связей имеет антропоморфный характер и связано с предметно-практической деятельностью человека. В ходе человеческой деятельности было обнаружено, что одинаковые практические действия, одинаковые операции, как правило, ведут к одинаковым результатам. Это и легло в основу возникновения понятия причинности. Фактически *причинность – это категория для обозначения необходимой связи во времени протекающих в нём явлений.* Впоследствии были осознаны и наиболее существенные признаки причинно-следственных связей:

- временное предшествование причины следствию;
- одна и та же причина строго обуславливает одно и то же следствие;
- именно причина «производит» следствие.

Эти три признака в совокупности характеризуют причинность, которая может быть названа наглядной. Наглядная причинность – это простейший вид причинности. Она фиксирует связь как бы очевидных фактов. Спуск курка – ружейный выстрел, давление ноги человека или лапы животного на почву – оставленный след и т. п.

Для науки принципиально важным является убеждение в том, что, не зная причины возникновения природного явления, невозможно понять его сущность. В развитых научных дисциплинах *под причинностью понимается такая связь состояний системы во времени, на основе которых из знания предшествующего состояния системы можно предсказать её последующее состояние.*

Академик В. А. Фок подчёркивал, что принцип причинности в общем смысле следует понимать как утверждение о существовании законов природы и, в частности, тех, которые связаны с общими свойствами пространства и времени. Когда говорят о причинности, то имеют в виду не единичные случайные воздействия одной вещи на другую, а закономерное, необходимое протекание процессов. Причинно обусловленные процессы тем и характеризуются, что задание начального состояния с неизбежностью определяет последующие состояния.

Следует подчеркнуть, что математическое понятие функциональной зависимости не является в строгом смысле причинной связью. В функциональных зависимостях аргумент и функция всегда обратимы: что принять за независимую переменную, а что за функцию – с математической точки зрения безразлично, и этот вопрос решается в конкретных условиях задачи. *В причинно-следственных связях существенна именно их необратимость.*

Первым разделом физики, достигшим завершённости, явилась классическая механика, ставшая базисной основой механической картины мира, где в наиболее наглядной форме представлена концепция причинности.

*Методологическая установка, лежащая в фундаменте концепции причинности, выражена в следующем утверждении: все элементы мира связаны между собой причинно-следственными связями таким образом, что, зная в определённый момент времени координаты каждого элемента, можно в принципе абсолютно точно предсказать положение этого элемента через любой промежуток времени.*

Именно этот научный замысел лежит в основе механики. Главная (основная) задача механики имеет ярко выраженный прогностический характер: предсказать, рассчитать координату тела в любой момент времени движения материальной точки (тела). Координаты и скорость (или импульс частицы) носят название динамических переменных, их задание определяет в механике состояние частицы.

В механике Ньютона причинно-следственная связь математически выражена вторым законом динамики

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

Здесь в явном виде в математической форме дано решение одной из важнейших физических проблем, начиная с эпохи Аристотеля, а именно: приложенная к телу сила является причиной изменения движения (а не самого движения как такового), появления у тела ускорения.

Зная силы (причины), действующие на материальную точку, по второму закону можно найти ускорение. Зная ускорение, можно найти значение скорости и координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

$$x = \pm x_0 \pm vt;$$

$$x = \pm x_0 \pm v_0 t \pm \frac{at^2}{2}.$$

Данные уравнения позволяют полностью решить главную задачу механики – по заданным начальным условиям динамических переменных предсказать (вычислить) их значения в любой момент как прошлого, так и будущего.

Более того, вся система введённых Ньютоном теоретических законов (1-й, 2-й и 3-й законы Ньютона), помещённых им в ядро классической механики, тем или иным способом отображают причинно-следственную связь. Первый закон утверждает, что тело находится в покое или движется по инерции (равномерно и прямолинейно), пока какие-либо причины (те или иные механические силы) не изменят это состояние. Второй закон показывает, что следствием действия силы является приобретённое телом ускорение. Третий закон свидетельствует о том, что существование самой причинно-следственной связи обусловлено наличием взаимодействий тел друг с другом, в результате которых изменяется состояние систем.

В результате триумфального, революционного прорыва в постижении природы на основе научной программы И. Ньютона стало утверждаться представление, что причинно-следственные связи являются однозначными, строго линейными.

Мир начал представлять перед взглядами учёных как сложный, но абсолютно точный часовой механизм – гигантский часовой механизм, созданный Богом. В этом часовом механизме всё целесообразно. Декарт высказывал идею о том, что Бог-Творец просто более искусный механик, чем человек. Лейбниц видел разницу между животными организмами и механическими автоматами только в том, что всякое органическое тело живого существа есть своего рода Божественная машина, которая бесконечно превосходит автоматы искусственные.

Человечество обрело точку опоры в постижении мира. Классическая механика, созданная Ньютоном, предстала как великолепный, мощный и эффективный инструмент прогнозирования будущего Вселенной, целостной системы мира. Ньютоновская теория была испытана на бесчисленном множестве случаев. Появилась возможность прогнозирования движения на сотни, тысячи и даже миллионы лет вперёд или назад, не случайно поэтому научная программа Ньютона обусловила мировоззрение целых поколений и в других областях, показывая прелесть точного знания, возможность его достижения. Механика стала основой мировоззрения. Да и замысел Ньютона заключался именно в этом: «Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы».

В физике стало утверждаться представление, что законы механики позволяют для любой, сколь угодно сложной системы строго спрогнозировать ее состояние. Эта концепция получила наиболее чёткое выражение у французского физика, математика, астронома XVIII века, работавшего в рамках научной программы Ньютона, П. С. Лапласа. Его пятитомное произведение «Трактат о небесной механике» как бы подытожило развитие механики всего XVIII века. Именно в небесной механике Лаплас, как и другие ученые XVIII века, видит вершину ме-

ханики как науки вообще, в которой находит свое полное подтверждение принцип механического понимания природы. Воззрения Лапласа представляют собой наиболее последовательное выражение механицизма XVII – XVIII веков. «Мы должны рассматривать современное состояние Вселенной, – писал Лаплас, – как результат её предшествовавшего состояния и причину последующего. Разум, который для какого-то данного момента знал бы все силы, действующие в природе, и относительное расположение ее составных частей, если бы он, кроме того, был достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, обнял бы в единой формуле движения самых огромных тел во Вселенной и самого легкого атома; для него не было бы ничего неясного, и будущее, как и прошлое, было бы у него перед глазами... Кривая, описываемая молекулой воздуха или пара, управляется столь же строго и определенно, как и планетные орбиты: между ними лишь та разница, что налагается нашим неведением» (URL: [scisne.net](http://scisne.net)).

Лаплас полностью убежден в том, что физика должна быть сведена к механике, а последняя решает все задачи путем дифференциального исчисления. Достаточно проинтегрировать систему дифференциальных уравнений, описывающих движение всех без исключения тел и частиц, составляющих Вселенную, чтобы получить исчерпывающее знание того, что есть, что было и что будет. Здесь он близок к французским материалистам, о чём достаточно убедительно свидетельствует его ответ на реплику Наполеона (получившего в подарок экземпляр «Изложения системы мира»): «Ньютон в своей книге говорил о Боге, в Вашей же книге я ни разу не встретил имени Бога» – «Гражданин первый консул, в этой гипотезе я не нуждался» (URL: [The Lib.ru>books...istoriya\\_novoevropeyskoj...v...svyazi...](http://TheLib.ru/books...istoriya_novoevropeyskoj...v...svyazi...)).

Итак, природа подчиняется жёстким, абсолютно однозначным причинным связям. Случайности при таком подходе места нет. Случайность – ещё не определённая причина. Впоследствии эта концепция получила название *жёсткого лапласовского детерминизма*.

Лапласовский детерминизм – абсолютизация причинности, описываемой строго динамическими законами механики, что ведёт к отождествлению причинности с необходимостью и отрицанию объективного характера случайности.

Все усилия духа в поисках истины должны стремиться к нахождению этой однозначной объективной связи. Так сформировалось представление о сущности механического детерминизма, что и стало причиной возникновения мировоззрения механицизма. *Механицизм* – мировоззрение, объясняющее развитие природы и общества законами механической формы движения, которые рассматриваются как универсальные и распространяющиеся на все виды движения материи.

Итак, можно обобщить все фундаментальные идеи и представления механической картины мира в табл. 2.

Таблица 2

Материя	Материя – вещество, состоящее из неделимых частиц, т. е. она прерывиста, дискретна. Существует материя в виде корпускул, которые имеют конечный размер, объём, форму. Корпускулы обладают массой, скоростью, энергией и другими характеристиками. Они непроницаемы; в одном месте пространства может находиться только одна корпускула
Движение	Все виды физического движения сводятся к механическому движению. Механическое движение – перемещение материальных точек, происходящее в виде прямолинейных и криволинейных движений. Движение подчиняется законам Ньютона. Движение и покой абсолютны в абсолютной системе координат и относительны в разных системах отсчёта
Взаимодействие	Всеобщая взаимосвязь объектов осуществляется с помощью гравитационного взаимодействия. Оно универсально и осуществляется мгновенно с помощью далекодействующих сил тяготения. Взаимодействие возможно и при непосредственном механическом контакте тел

## Окончание табл. 2

Пространство и время	Абсолютны, т. е. существуют сами по себе независимо от материи в виде пустого пространства и чистого времени. Пространство – вместительница материальных тел, однородно и изотропно. Всё пространство заполняет эфир. Время – чистая длительность, оно однородно. Моменты времени абсолютны для разных систем координат (единое мировое время для всей Вселенной). Ритм, ход времени одинаков и постоянен и не зависит от покоя или движения системы
Причинность	Все элементы мира связаны между собой причинно-следственными связями таким образом, что, зная в определённый момент времени состояние каждого элемента системы, можно абсолютно точно предсказать состояние любого элемента в последующем. Однозначная предопределённость – механическая причинность, жёсткий лапласовский детерминизм. Возможность абсолютного точного определения состояния системы в прошлом, настоящем и будущем. Вселенная функционирует как гигантский отлаженный часовой механизм. Причина рассматривается как внешнее воздействие (сила)

Казалось, что механическая картина мира даёт окончательное объяснение всех явлений природы. Напомним слова Лагранжа: «Счастливец Ньютон. Систему мира можно создать только один раз». Однако надеждам такого рода не суждено было сбыться. На смену механической картине мира пришла электромагнитная (электродинамическая).

### Вопросы для контроля

Что такое причинно-следственная связь в механической картине мира?

Каковы существенные признаки причинно-следственных связей?

Что представляет собой лапласовский детерминизм?

Что такое механицизм?

## Глава II. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

### § 1. Электромагнитное взаимодействие как новый вид физического взаимодействия. Концепция близкодействия и возникновение представлений об электрическом и магнитном полях

Это драма... драма идей.  
*А. Эйнштейн*

Триумф классической механики пришёл после того, как на многочисленных примерах была показана эвристическая мощь системы теоретических законов классической механики, научная программа Ньютона в целом. Механическая картина мира ядром своего мировоззрения стала признавать сведение всех физических явлений к механическому движению и взаимодействию корпускул, т. е. в МКМ отвергались качественные особенности разнообразных физических явлений. Тем не менее, начали накапливаться факты, подрывающие классические представления о материи, пространстве, времени, взаимодействии, движении и причинности. Наиболее серьёзные проблемы стали возникать при изучении световых, электрических и магнитных явлений.

Учение об электричестве и магнетизме начало развиваться значительно позже, чем механика. Вплоть до XVI века слово «электричество» означало не что иное, как способность янтаря при его натирании притягивать к себе лёгкие предметы. В XVI веке Гильбертом были проведены исследования, в результате которых все вещества разделили на два класса: электрики и неэлектрики. По классификации Гильберта к электрикам (по современной теории – изоляторам) относятся вещества, аналогичные по своим свойствам янтарю. Электризацию долгое время объясняли существованием особых жидкостей (положительной и отрицательной), перетекающих из одного тела в другое. Природа электричества сводилась к присутствию в наэлектризованных телах особых невесомых жидкостей, флюидов. Более наэлектризованное тело имело большее количество этой особой электрической субстанции. Однако наблюдаемые впоследствии электрические явления побудили некоторых учёных высказать принципиально иную гипотезу о природе электричества.

Чёткие научные контуры изучение электрических явлений стало приобретать после того, как О. Ш. Кулон в 1795 г. экспериментально с помощью крутильных весов непосредственно измерил силу электрического взаимодействия неподвижных электрических зарядов (наэлектризованных тел)

$$F_{\text{эл}} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

По своему внешнему виду математическая запись основного закона электростатики была совершенно аналогична закону всемирного тяготения. Только вместо масс в формуле были электрические заряды, а вместо гравитационной постоянной – другая константа. И вновь возникла острая мировоззренческая проблема. Время в формуле отсутствует, следовательно, изменение положения хотя бы одного из наэлектризованных взаимодействующих тел, в том числе и для удалённых друг от друга зарядов на любых больших расстояниях, должно было мгновенно сказаться на величине силы электрического взаимодействия. То есть вновь вставала проблема дальнодействующих сил.

Напомним, что сам Ньютон в этом вопросе был на распутье: «Предполагать... что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо передавая действие, это, по-моему, такой абсурд, который немислим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских предметах. Является ли, однако, этот агент материальным или нематериальным, решать я предоставляю своим читателям». И далее: «Гипотез я не измышляю» ([URL: dic.academic.ru>dic. nsf/ruwiki/1057587](http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1057587)).

Тем не менее, беря за образец теорию тяготения с её дальнодействующими силами, предлагалось вытекающие из закона электрического взаимодействия дальнодействующие электрические силы признавать как факт, хотя объяснить их существование сложно (Эпинус). Следствием этого является существование электрических взаимодействий, передающихся с бесконечно большими скоростями. Логически против такого утверждения возразить ничего нельзя.

Однако в противовес сторонникам дальнодействия существовала и другая гипотеза – гипотеза близкодействия. Практический опыт показывал, что мгновенных взаимодействий не существует. Скорость передачи взаимодействия всегда конечна. На основе концепции дальнодействия непосредственное, мгновенное действие на расстоянии предполагает, что тело может оказывать действие в тех местах, где

его нет. Практический же опыт показывает, что все подобные взаимодействия осуществляются с помощью промежуточного агента, той или иной среды. Тело, действуя на промежуточную среду, вызывает в ней какие-то изменения, которые распространяются с конечными скоростями. Когда эти изменения достигают тела, они проявляются в виде сил, действующих на него. Подобная трактовка механизма взаимодействия получила название *концепции близкодействия*.

С точки зрения сторонников близкодействия, переносчиком электрического взаимодействия служит эфир, заполняющий всё пустое пространство между удалёнными телами. Однако, по словам А. Эйнштейна, эфир был «выродком в семье физических субстанций», поскольку должен был обладать рядом необъяснимых свойств.

Решающее значение в утверждении принципиально иной концепции электрического близкодействия принадлежит М. Фарадею, блестящему экспериментатору, который оставил человечеству 30 томов экспериментальных исследований. Именно ему принадлежит гипотеза, вводящая в физический научный арсенал принципиально новое понятие электрического поля как принципиально нового физического объекта (в противовес эфиру). Фарадей вновь возвращается к идее непрерывности, континуальности материи: «Материя присутствует везде, и нет промежуточного пространства, не занятого ею». По мнению Фарадея, электрическое поле – это тот промежуточный агент, та промежуточная среда, с помощью которой и осуществляется взаимодействие пространственно разделённых наэлектризованных тел. Эта среда напряжена, образуя своеобразные силовые трубки на основе силовых линий. Один из величайших современников Фарадея, создатель теории электромагнетизма, Дж. К. Максвелл в письме к Фарадею писал: «Сейчас, насколько мне известно, Вы являетесь первым человеком, у которого возникла идея о том, что тела действуют друг на друга на расстоянии посредством обращения окружающей среды в состоянии напряжения, идея, в которую действительно стоит поверить ... Мне кажется, что Вы ясно видите, как силовые линии огибают препятствия, гонят всплески напряжений ... сворачивают вдоль определённых направлений... и несут с собой всё то же самое количество способности к притяжению, распределённой разреженнее или гуще в зависимости от того, расширяются эти линии или сжимаются» (URL: [nplit.ru>books/item/f00/s00/z0000056/st024](http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000056/st024)).

Исторический казус заключается в том, что блестящие теоретические физические идеи были высказаны не закончившим школы учёным-самоучкой и, как писал Р. Милликен: «Формалисты школы Ампера – Вебера ... с тайным, а иногда явным презрением смотрели на «грубые материальные» силовые линии и трубки, порождённые фантазией переплётчика и лабораторного сторожа Фарадея» ([URL: lib.rin. ru>doc/i/15570p49.html](http://lib.rin.ru/doc/i/15570p49.html)).

Впоследствии, по словам того же Р. Милликена, одна из заслуг Максвелла, как уже указывалось, создателя теории классического электромагнетизма, заключается в том, что он «облёк плебейски обнажённые идеи Фарадея в аристократические одежды математики».

После признания идей Фарадея в 1832 г. он был избран членом Королевского лондонского общества, а затем – директором.

Работами М. Фарадея представления об электрическом взаимодействии были кардинально изменены: оно происходит с помощью особого вида материи – *электрического поля*, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами, т. е. электрическое поле – посредник, агент, передающий это взаимодействие (концепция близкодействия). Отсюда следует, что электрический заряд (наэлектризованное тело) не действует механически непосредственно на другой заряд.

Острые дискуссии относительно существования электрического поля были обусловлены его визуальной ненаблюдаемостью. Его материальность (реальность существования) обнаруживается по его действию на заряды. Позже А. Эйнштейн подчёркивал: «Для современного физика электрическое поле столь же реально, как и стул, на котором он сидит».

Материя вновь предстала перед физиками непрерывной, континуальной, бесконечной, ставя под сомнение классические механические представления о дискретности, корпускулярности материи.

Решающую роль в становлении понятия поля и тем самым в смене механической парадигмы на электромагнитную сыграло изучение магнитного взаимодействия.

В возрасте пяти или шести лет маленький Эйнштейн испытал глубокое потрясение, чудо, которое ему запомнилось на всю жизнь. Оно было связано с отцом, который подарил ему компас. «То, что стрелка вела себя так определённо, – вспоминает он, – никак не под-

ходило к тому роду явлений, которое можно было найти в моём мире понятий (действие через соприкосновение). Я помню ещё и сейчас ... как тот случай произвёл на меня глубокое и длительное впечатление» (URL: [softmixer.com/2012/03/blog-post\\_7697.html](http://softmixer.com/2012/03/blog-post_7697.html)).

Явление магнетизма известно людям также давно, как и свойства янтарной палочки. Первое подробное исследование и описание свойств постоянных магнитов было выполнено в 1600 г. Гильбертом. Первоначально в физике возникло представление о существовании особой магнитной субстанции, которая и обеспечивает магнетизм. Решающую роль в выяснении природы магнетизма сыграл опыт Эрстеда в 1820 г.

Уже в XVIII веке было обращено внимание на намагничивание железных предметов и перемагничивание компаса, если вблизи них происходила молния. Это наводило на мысль о связи магнитных явлений с электрическими. Экспериментальное подтверждение данного предположения было осуществлено датским физиком Х. К. Эрстедом (1777 – 1851 гг.), впервые наблюдавшего действие тока на магнитную стрелку. Магнитная стрелка, расположенная вблизи проводника с электрическим током, поворачивается. По мнению многих историков физики, это был единственный случай, когда короткая информация об открытии почти мгновенно облетела весь научный мир.

При дальнейшем исследовании магнитного взаимодействия наиболее значимы были работы А. М. Ампера (1775 – 1836 гг.). Им была осознана принципиальная важность *движения* электрических зарядов. Магнитные явления порождаются только электрическими токами (движущимися зарядами). Следовательно, нет ни магнитных жидкостей, ни магнитных зарядов. Как говорил сам Ампер: «... все магнитные явления я свёл к чисто электрическим действиям» (Ампер. Электродинамика : пер. с фр. М., 1954. С. 411). Тем самым исключалась возможность существования магнетизма как особого самостоятельного явления природы.

Им исследуется взаимодействие двух параллельных проводников с сонаправленными и противоположными токами. Характер взаимодействия имел явно не электрическую природу. Ампер понимал важность своего открытия: «Пусть впоследствии создадут новые теории электричества. Пусть возникнут новые гипотезы об электромагнитных процессах, формула установленного мною закона останется неизменной» (URL: [on-line.rubiteka.ru/book/read/amper/26](http://on-line.rubiteka.ru/book/read/amper/26)).

Впоследствии Дж. К. Максвелл назовет Ампера «Ньютоном электричества». Закон Ампера стал основой всей электродинамики.

$$F_{\text{маг}} = k \frac{[i_1 \Delta l_1][i_2 \Delta l_2]}{r^2}.$$

По своему внешнему виду этот закон напоминает закон Кулона. Аналогом заряда является элемент тока  $i_n \Delta l_n$ . Похожесть закона взаимодействия параллельных токов на закон всемирного тяготения и закон Кулона вновь обусловила возникновение представлений о мгновенной передаче магнитного действия (концепция дальнего действия). Однако работы учёных в данном направлении вскоре зашли в тупик. И в этом случае вновь восторжествовали идеи М. Фарадея. Как и в случае с взаимодействием электрических зарядов, им вводится понятие промежуточной среды – магнитного поля. *Магнитное поле* – особый вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между движущимися зарядами (электрическими токами). Согласно новой концепции Фарадея воздействие одного тока осуществляется таким образом: первый ток создаёт вокруг себя магнитное поле, в котором оказывается второй ток. Магнитное поле первого тока воздействует на второй ток. Аналогично – второй ток создаёт вокруг себя собственное магнитное поле, которое и воздействует на первый ток.

Для обнаружения визуально невидимого магнитного поля используются мелкие металлические опилки, магнитные стрелки или контуры с токами. Таким образом, материальность магнитного поля, или реальность его существования, обнаруживается по силовому воздействию на какие-либо магнитные элементы. Магнитное поле отличается от электрического. Его силовые линии замыкаются сами на себя, у них нет ни начала, ни конца, расположены они в плоскости, перпендикулярной току.

Идеи Фарадея об электрическом и магнитном полях, по мнению Эйнштейна, были самым важным открытием со времён Ньютона. Пространство рассматривалось учёными вслед за Ньютоном как пассивное, безучастное вместилище тел и электрических зарядов. У Фарадея оно как раз и представляет средоточие явлений, будучи заполненным электрическими и магнитными полями. Зарождалась принципиально новая физическая картина мира – электромагнитная (электродинамическая).

Дальнейшее изучение электрических и магнитных явлений привело к утверждению неразрывной связи электрических и магнитных явлений. Были выявлены факты как порождения магнетизма электричеством (опыты Эрстеда), так и порождения электричества изменяющимся магнитным полем (явление электромагнитной индукции, опыты Фарадея). Теоретическое оформление классических законов электромагнетизма принадлежит Джеймсу Клерку Максвеллу. Теория электромагнетизма была представлена в работах «О физических линиях силы» (1862 г.) и «Динамическая теория поля» (1865 г.).

Напомним, что, по словам Р. Милликена, одна из заслуг Максвелла заключается в том, что он «облёк плебейски обнажённые идеи Фарадея в аристократические одежды математики». Таким образом, в 60-х гг. XIX века Максвеллом была разработана теория единого электромагнитного поля, где на математическом языке были выражены все фундаментальные идеи электромагнетизма. В теории Максвелла мысль о тесной взаимосвязи электрических и магнитных полей получила свое обобщение и была в строгой форме выражена в виде математических уравнений.

Максвелл представил в математической форме все известные к тому времени сведения об электромагнетизме, создав единую трактовку электрических и магнитных явлений, используя по существу математический регрессионный анализ. Основу такого подхода составляют уравнения Максвелла. Записанные в интегральной форме, с учетом теоремы Остроградского – Гаусса для электрического и магнитного полей, они имеют вид:

$$1. \oint_L (\vec{E}_S d\vec{l}) = -\frac{d}{dt} \int_S (\vec{B} d\vec{S}) \text{ – обобщение закона электромагнитной}$$

индукции;

$$2. \oint_L (\vec{H} d\vec{l}) = \int_S (\vec{j} d\vec{S}) + \frac{d}{dt} \int_S (\vec{D} d\vec{S}) \text{ – обобщение закона полного тока;}$$

$$3. \oint_S (\vec{D} d\vec{S}) = \sum_I q_i \text{ – теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля;}$$

тростатического поля;

$$4. \oint_L (\vec{B} d\vec{S}) = 0 \text{ – теорема Остроградского – Гаусса для магнито-$$

статического поля.

Заметим, что эти законы можно записать, используя другой математический формализм. Суть 1-го закона заключается в том, что он математически выражает тот факт, что изменяющееся электрическое поле создаёт вихревое переменное магнитное поле. Содержание 2-го уравнения отражает закон электромагнитной индукции: изменяющееся магнитное поле создаёт индуцированное электрическое поле, т. е. теория Максвелла утверждает порождаемость одним полем другого.

Эти уравнения играют в электромагнетизме роль, аналогичную законам Ньютона в классической механике и образуют единую целостную систему, входящую в ядро электромагнетизма. Они не вытекают из каких-либо более общих теоретических положений, а являются обобщением опыта. Они не выводятся, а открываются и становятся постулатами теории. Уравнения Максвелла не могут быть сведены к уравнениям механики; многочисленные попытки такого рода не дали результатов. При этом они сохраняют свой вид при преобразованиях Лоренца (но не при преобразованиях Галилея).

Уравнения, записанные Максвеллом, вызвали неподдельное изумление как современников, так и учёных более позднего времени. М. Лауэ замечал по этому поводу, что понимание того, как сложнейшие разнообразные явления математически сводятся к таким простым и гармонически прекрасным уравнениям, является одним из сильнейших переживаний, которые доступны человеку.

Ещё более эмоционально выражение Г. Герца: «Мы открыли текст, написанный рукой Бога». Он же утверждал: «Нельзя изучать эту удивительную теорию, не испытывая по временам такого чувства, будто математические формулы живут собственной жизнью, обладают собственным разумом – кажется, что эти формулы умнее нас, умнее даже самого автора, как будто они дают нам больше, чем в свое время было в них заложено» (URL: [elementy.ru](http://elementy.ru) Библиотека Красота физики).

Постепенно и не без борьбы идея поля стала занимать руководящее место в физике. А она завоевывала себе позиции с большим трудом. Даже виднейшие физики того времени яростно отвергали новую теорию. К примеру, В. Томсон в одном из своих выступлений в 1884 г. выразил крайнюю неудовлетворённость теорией Максвелла, заявив, что никогда не поверит в неё до тех пор, пока не удастся построить механическую модель этого явления. Действительно, до тех

пор шествие механики было поистине триумфальным, приведшим к сведению практически всех физических явлений к их механическим моделям. Возник своеобразный методологический идеал: «Если вы можете построить механическую модель, вы понимаете, если не можете – не понимаете». Именно поэтому В. Томсон говорил: «Я никогда не чувствую себя удовлетворенным до тех пор, пока не смогу построить механическую модель изучаемой вещи. Если я могу построить ее механическую модель, я ее понимаю. До тех пор пока я не могу построить её механическую модель, я её не понимаю в течение всего этого времени» (URL: <http://vikent.ru/author/2033/>). Эта установка предопределила и попытки в дальнейшем построить механические модели электромагнетизма.

В свое время и сам Максвелл пытался найти механистическое объяснение своей же теории, пытаясь создать механическую модель электромагнитных процессов.

Уже позже Г. Герц сделал своё заявление, в котором чётко утверждал, что механического объяснения электромагнитных явлений не существует, как не существует и надобности в таком объяснении, поскольку электромагнитное взаимодействие – принципиально новый вид физического взаимодействия.

Таким образом, развитие физики после Максвелла привело к кардинальному изменению представлений о физической реальности: материя мыслилась в виде непрерывных, не поддающихся механическому объяснению полей. По утверждению А. Эйнштейна, это изменение понятия реальности считается наиболее глубоким и плодотворным из тех, которые испытала физика со времён Ньютона.

Однако представления о материи в электродинамической картине мира (ЭДКМ) этим не исчерпывались. Голландский физик Г. Лоренц (1853 – 1928 гг.) считал, что теория Максвелла нуждается в дополнении, так как в ней не учитывается структура вещества. Для электромагнетизма наиболее острая проблема была связана с выяснением природы электричества: это особый флюид или нечто другое? Большая когорта учёных работала в рамках гипотезы о дискретности электричества и существовании мельчайшей её порции. Лоренц высказал в этой связи свои представления об *электронах, т. е. крайне малых электрически заряженных частицах (обладающих минимальным электрическим зарядом), которые в громадном количестве присутствуют во всех телах.*

В 1895 г. Лоренц даёт систематическое изложение электронной теории, опирающейся, с одной стороны, на теорию Максвелла, а с другой – на представления об «атомарности» (дискретности) самого электричества. В 1897 г. был открыт электрон, и теория Лоренца получила свою материальную основу. В дальнейшем было выяснено, что именно движущиеся или колеблющиеся заряды и порождают электромагнитное поле.

Материя тем самым предстала в новой картине мира в виде вещества (совокупности электрических зарядов) и поля. Принципиальной особенностью утверждения понятия поля является понимание того, что существует единое бесконечное электромагнитное поле, а электрические и магнитные поля – лишь его компоненты, обнаруживающие себя при определённых конкретных условиях. Это поле обнаруживается как электрическое в ситуациях взаимодействия покоящихся электрических зарядов. Как магнитное оно проявляется в ситуациях взаимодействия движущихся зарядов (токов), т. е. магнетизм – это релятивистский эффект. Таким образом происходило становление новой электромагнитной картины мира.

Резюме. В электромагнитной картине мира материя представляется в виде единого, абсолютно непрерывного, бесконечного, континуального электромагнитного поля. Была выдвинута гипотеза, что заряды представляют сгустки этого поля. Оно – вид материи, принципиально отличающийся от вещества. Но оно связано с веществом и связывает частицы вещества в системы – ядра, атомы, молекулы, макро- и мегатела. Поле связано с понятием агента, посредника, с помощью которого осуществляется действие на расстоянии (дальнодействующие силы были отброшены). Электромагнитное поле – это универсальный носитель передачи нового типа взаимодействия – электромагнитного.

### **Вопросы для контроля**

Почему электромагнитное взаимодействие представляет собой новый вид физического взаимодействия?

По какой причине произошло изменение представлений о материи в ЭДКМ?

Кто является родоначальником введения понятия «электрическое поле»?

Что такое электрическое поле?

Кого считают родоначальником введения понятия «магнитное поле»?

Почему в физике возникло представление о едином электромагнитном поле?

Какой учёный стал разработчиком классической теории электромагнетизма? В каком веке она была создана?

Каковы отличительные особенности представлений о материи в электромагнитной картине мира?

Каковы отличительные особенности представлений о взаимодействии в электромагнитной картине мира по сравнению с механической картиной мира?

## **§ 2. Электромагнитная волна как новый принцип движения**

Человечество было сформировано не императорами, жрецами, полководцами, а теми, кто создал топор, колесо, самолёт..., кто открыл железо, полупроводники и радиоволны.

*Даниил Гранин*

Уравнения Максвелла можно назвать фундаментальными уравнениями классического электромагнетизма, с помощью которых, как и с помощью законов Ньютона в классической механике, возможно получение множества теоретических предсказаний и следствий. Одно из таких предсказаний связано с прогнозированием существования электромагнитных волн.

Теория Максвелла утверждает неразрывную связь электрических и магнитных полей, порождаемость одного поля другим. Наведённые вторичные электрические и магнитные поля концентрически охвачены силовыми линиями поля, создающего его. В результате образуется система «переплетённых» между собой электрических и магнитных полей. Следовательно, электромагнитное поле не может быть локализовано в одном месте пространства; оно распространяется от одной точки к другой, образуя не что иное, как электромагнитную волну (рис. 5 и 6).

Максвеллом было показано, что электрические и магнитные поля могут существовать независимо от зарядов и токов, отделяться от них и, порождая друг друга, перемещаться в пространстве.

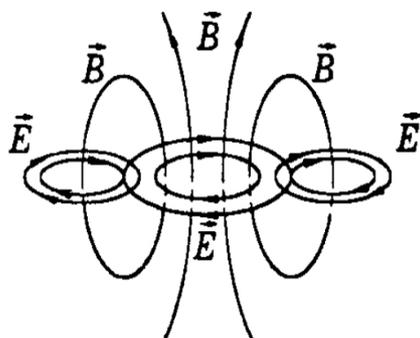


Рис. 5

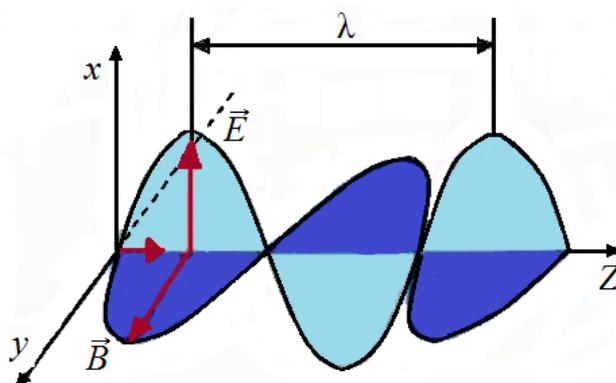


Рис. 6

В электромагнитной волне векторы напряжённости электрического поля  $\vec{E}$  (силовая характеристика электрического поля) и векторы магнитной индукции  $\vec{B}$  (силовой характеристики магнитного поля) взаимно перпендикулярны и всегда расположены в плоскостях, перпендикулярных к направлению распространения электромагнитной волны. Таким образом, распространение электромагнитного поля носит волновой характер.

Электромагнитная волна в направлении своего распространения переносит некоторое количество энергии, в результате чего может фиксироваться. Торжество идей Максвелла связано с тем, что волны были экспериментально обнаружены именно после их теоретического прогнозирования немецким учёным Г. Герцем в 1888 г. опыты Герца принадлежат к числу наиболее выдающихся событий в истории физики – это свидетельство справедливости теории электромагнетизма Максвелла. В первых опытах Герцу удалось создать волны длиной около одного метра, и именно на них он продемонстрировал все свойства, которые присущи механическим волнам и свету (интерференция, дифракция, дисперсия, поляризация). Это обстоятельство послужило выдвижению гипотезы об электромагнитной природе света. Вскоре была определена скорость электромагнитных волн в вакууме. Она оказалась равной также скорости света –  $3 \cdot 10^8$  м/с, что послужило решающим фактором в утверждении электромагнитной природы света.

Таким образом, было выявлено, что в электромагнетизме процесс движения осуществляется двояким способом: движением электрических зарядов (токов) и в виде электромагнитных волн.

Однако здесь возникла новая физическая проблема. Механические волны представляют собой процесс распространения колебаний в упругих средах. Чтобы возник волновой процесс, необходимо наличие колеблющегося тела и упругой среды, где и происходит передача возникшего возмущения. В вакууме механические волны не распространяются. Если говорить об электромагнитных волнах, то колеблющимися телами, создающими электромагнитные волны, служат электрические заряды. Но что представляет собой упругая среда, которая передаёт возникающее возмущение, ведь свет, представляющий собой электромагнитную волну, распространяется в вакууме и пересекает громадные пространства.

В кругах физиков вновь появляется интерес к эфиру. Долгое время он был неотъемлемой частью электродинамики. Эфир представлялся как сплошная всепроникающая среда. В этом случае электромагнитная волна представляет собой не что иное, как возмущения эфира, волны эфира. В первой половине XIX столетия ученые даже тщательно проработали теоретическую модель эфира и механику распространения света (имеющую электромагнитную природу), включая всевозможные рычаги и оси, якобы способствующие распространению колебательных световых волн в эфире.

Но действительно ли электромагнитные волны – это волны эфира. Физические проблемы с эфиром были обусловлены его необычными свойствами:

- он заполняет всё пустое пространство;
- в одних опытах проявляет себя как покоящийся;
- в других опытах проявляет себя как увлекающийся движущимися телами;
- обладает упругими свойствами, но при этом не мешает движению.

Здесь приходится говорить о растянувшемся на годы и даже десятилетия поиске эфира. Острота проблемы связана с тем, что согласно гипотезе существования эфира, имеется выделенная, привилегированная система отсчёта, связанная с неподвижным мировым эфиром. Остальные системы отсчёта движутся относительно неё, и возникаю-

щий «эфирный ветер» должен менять в них величину скорости света. Решающими опытами, окончательно отбросившими гипотезу эфира, были опыты Майкельсона – Морли.

С целью обнаружения эфирного ветра в 1881 г. был поставлен один из самых знаменитых физических экспериментов — опыт Майкельсона; позже к нему присоединился Морли. С помощью чувствительного интерферометра исследовалась интерференционная картина, даваемая двумя когерентными пучками света, имеющими перпендикулярные направления. Ниже представлена упрощённая схема интерферометра. Интерферометр – оптический прибор, в котором луч света расщепляется надвое полупрозрачным зеркалом. В итоге луч расщепляется, и два получившихся когерентных луча расходятся под прямым углом друг к другу, после чего отражаются от двух равноудаленных от полупрозрачного зеркала

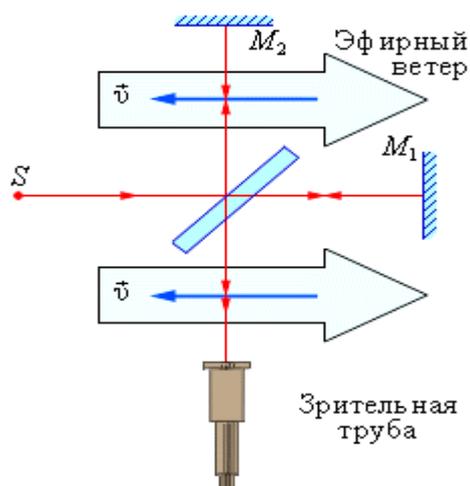


Рис. 7

от полупрозрачного зеркала зеркал-отражателей и возвращаются на полупрозрачное зеркало (рис. 7).

Надо отметить, что прибор Майкельсона – Морли не измерял численного значения скорости света каждого из пучков. Оба пучка после того как они совершали нужное количество пробегов туда и обратно объединялись в единый пучок, дающий интерференционную картину чередующихся светлых и темных полос, которую можно было наблюдать в небольшую зрительную трубу.

Идея опыта была следующая. Интерферометр движется относительно эфира вместе с Землёй; при повороте интерферометра меняется направление эфирного ветра относительно плеч интерферометра, вдоль которых двигаются пучки света, что должно сказываться на скоростях пучков, так как эфирный ветер должен был по-разному влиять на них и изменять скорость. Она должна была быть разной в зависимости от того, движется ли свет сонаправленно с движением Земли в эфире, в противоположную сторону или перпендикулярно – классический закон сложения скоростей. Действительно, скорость светового пучка при его сонаправленном движении с Землёй должна быть

(300000 + 30 км/с). При распространении светового пучка против движения Земли – (300000 – 30 км/с). При перпендикулярном направлении движения скорость находится по теореме Пифагора. 30 км/с – скорость движения Земли. Это аналогично нахождению скорости пули, вылетающей из пулемёта, находящегося на самолёте. Скорость пули относительно Земли получается геометрическим сложением скорости самолета и скорости пули.

Что касается опытов с интерферометром, то изменения скоростей пучков света должны были при своём наложении давать сдвиги интерференционной картины. Однако никаких сдвигов обнаружено не было. Наблюдения проводились в разное время года (когда скорость Земли ощутимо меняла направление) и неизменно давали отрицательный результат. Эфирного ветра обнаружено не было.

Современные эксперименты подобного рода, проведенные с максимально возможной точностью, включая эксперименты с лазерными интерферометрами, дали аналогичные результаты. Следовательно, эфирного ветра, а значит, и эфира не существует.

Отсутствие эфирного ветра и эфира как такового стало причиной возникновения неразрешимого конфликта между классической механикой Ньютона (подразумевающей некую абсолютную систему отсчета) и уравнениями Максвелла (согласно которым скорость света имеет предельное значение, не зависящее от выбора системы отсчета).

Опыт Майкельсона – Морли окончательно показал, что «абсолютной системы отсчета» в природе не существует.

Но если эфира не существует, то электромагнитное поле представляет не состояние какой-то среды, а самостоятельно существующую реальность, которую нельзя свести к чему-либо другому. В таком случае и электромагнитные волны обладают самостоятельным существованием, самостоятельным движением в вакууме без необходимости всякой упругой среды.

Таким образом, развитие электромагнитной картины мира привело к утверждению положения о самостоятельном и независимом распространении электромагнитных волн в пространстве без гипотетического эфира (эфир ушёл с арены физической науки). В дальнейшем было выявлено, что движение электромагнитных волн происходит как в веществе, так и в вакууме.

### Вопросы для контроля

Каково значение уравнений Максвелла в утверждении теории электродинамики?

Что представляет собой электромагнитная волна?

Какие физические проблемы возникли при экспериментальном доказательстве существования электромагнитных волн?

Какой учёный экспериментально обнаружил электромагнитные волны?

Почему в электромагнетизме пытались обнаружить существование эфира?

Почему гипотеза существования эфира была в физике отброшена?

Каким образом электромагнитные волны распространяются в пространстве?

### § 3. Специальная теория относительности и возникновение новых представлений о пространстве и времени

Во все эпохи человек боролся против двух великих врагов – времени и пространства.

*А. Кларк*

Раскрытие сути пространства и времени относится к числу кардинальных и фундаментальных вопросов физики и всего естествознания в целом.

Макс фон Лауэ в своей «Истории физики» указывал на то, что с античных времён наибольшее волнение вызывали те теории, которые посягали на традиционные представления о пространстве и времени. Именно поэтому работы А. Эйнштейна по этим проблемам, затронутым им в своей специальной теории относительности (СТО), привлекли столь необычное внимание. Были опубликованы тысячи книг и брошюр, авторы которых выступали как «за», так и «против» СТО. Теория относительности продвинула наши представления о структуре мироздания на новую ступень – считает немецкий математик Герман Вейль. По его мнению, создание этой теории подобно тому, как если бы рухнула стена, закрывающая от нас истину. Теперь открылись более широкие просторы и большие глубины знаний – области, о существовании которых мы даже не догадывались.

Специальная теория относительности представлена в работе Эйнштейна «К электродинамике движущихся сред» в 1905 г. Это уникальный случай создания теории одним учёным. Более того, многие современники были близки к её открытию, но не смогли сделать решающего шага в переосмыслении классических представлений о пространстве и времени. А. Эйнштейн впоследствии писал: «Прости меня, Ньютон: ты нашёл единственный путь, возможный в то время для человека величайшей научной творческой способности и силы мысли. Понятия, созданные тобою, и сейчас ещё остаются ведущими в нашем физическом мышлении, хотя теперь мы знаем, что если стремиться к более глубокому пониманию взаимосвязей, то должны будем заменить эти понятия другими, стоящими дальше от сферы непосредственного опыта» (URL: [filosof.historic.ru>books/item/f00/s00/z0000996...](http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000996...)).

Суть специальной теории относительности составляют два принципа:

**1. Принцип относительности:** все законы природы инвариантны во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга.

**2. Принцип постоянства скорости света:** скорость света в вакууме одинакова во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга.

Заметим, в разных источниках нумерация принципов может меняться, однако суть от этого не меняется.

*1-й постулат* означает инвариантность (неизменяемость) физических законов по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой. То есть во всех инерциальных системах физические законы записываются и выполняются одинаково. Таким образом, принцип относительности справедлив не только для механических процессов, а обобщается на все физические явления. Этот обобщённый принцип получил название *принципа относительности Эйнштейна*.

Из этого постулата следует, что никаким физическим экспериментом невозможно обнаружить прямолинейное равномерное движение системы отсчёта (Земли в том числе). Другими словами, равномерное прямолинейное движение инерциальной системы неотличимо от покоя. Оба состояния равноправны. Если принцип относительности Галилея в классической механике утверждал невозможность раз-

личения покоя или равномерного прямолинейного движения системы с помощью механических опытов, то Эйнштейн расширил механический принцип относительности Галилея. Если бы обитатели «Галилеева ковчега» обзавелись интерферометром Майкельсона – Морли, то они всё равно не обнаружили бы, движется или покоится их корабль. Законы физических явлений будут одинаковыми как для покоящегося наблюдателя, так и для наблюдателя, находящегося в состоянии равномерного прямолинейного движения, так как мы не имеем средств, чтобы различить, находимся ли мы в таком движении или нет.

Все физические законы (механические, оптические, электромагнитные и т. п.) выполняются одинаково как в покоящихся системах, так и в системах, движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга.

2-й постулат утверждает, что скорость света не зависит от того, покоится или движется источник света или система отсчёта; она одинакова во всех инерциальных системах отсчёта.

Однако этот постулат противоречит классическому закону сложения скоростей

$$\vec{v}_{\text{рез}} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2.$$

Так, согласно этому закону скорость человека, идущего со скоростью 5 км/ч в поезде, движущемся относительно Земли со скоростью 60 км/ч, будет как больше, так и меньше скорости вагона относительно Земли. Относительно Земли скорость человека будет равна 65 км/ч ( $v_{\text{п}} + v_{\text{ч}}$ ), если он движется сонаправленно с движением поезда, и 55 км ( $v_{\text{п}} - v_{\text{ч}}$ ), если будет двигаться в противоположную сторону. Казалось бы, то же самое должно было оставаться справедливым и к свету, испускаемому движущимся источником. Скорость самого света 300000 км/с, значит, по отношению к Земле скорость света из фонарика человека, идущего в движущемся поезде по ходу его движения, должна быть больше этого значения на величину скорости движения поезда. То есть скорость света, исходя из классического закона сложения скоростей, должна увеличиваться на значение скорости движущейся системы координат, в которой он находится, по отношению к неподвижной системе координат ( $c + v_{\text{п}}$ ), где  $c$  – скорость света.

Однако прямые опыты, пытавшиеся измерить скорость света с различно движущимися источниками, вновь и вновь приводили к парадоксальному факту: скорость света не зависит от того, движется источник света или покоится.

Напомним, что впервые этот парадокс был экспериментально обнаружен в опытах Майкельсона – Морли. Его резонанс был огромен – грозил рухнуть весь физический мир с его незыблемыми механическими законами. Весь человеческий опыт показывал выполнимость механических законов, почему к отношению к свету наблюдается несоответствие? Первоначально причина виделась в погрешностях точности измерений. Физики снова и снова пытались обнаружить эфирный ветер, увеличивая точность аппаратуры:

- опыты Иллингорта – 1927 г. – точность 1 км/с;
- опыты Эссена – точность 0,23 км/с;
- опыты Таунса – 1958 г. – точность 1/30 км/с;
- опыты Чемпи – 1963 г. – точность 5 м/с;
- опыты Таунса – 1964 г. – точность 1 м/с.

Результат оставался неизменным: скорость света постоянна. Таким образом, выяснилось, что скорость света в СТО занимает особое положение. Это предельная скорость передачи взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую. Это принципиальный физический постулат электромагнитной системы мира.

Принципы СТО следует рассматривать как обобщение всей совокупности опытных фактов. Следствия из теории, созданной на основе этих принципов, подтверждались бесконечными опытными проверками. СТО позволила разрешить все проблемы «доэйнштейновской» физики и объяснить «противоречивые» результаты известных к тому времени экспериментов в области электродинамики и оптики. В последующее время СТО была подкреплена экспериментальными данными, полученными при изучении движения быстрых частиц в ускорителях, атомных процессах, ядерных реакций и т. п.

Тем не менее в момент их выдвижения они противоречили постулатам механики и должны были быть объяснены. «Ценой» утверждения СТО оказалось кардинальное изменение представлений о пространстве и времени, на которые решился только Эйнштейн. Часть классических свойств пространства и времени им были заменены. В общем виде свойства пространства и времени, утвердившиеся в электродинамике, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Пространство	Время
Не абсолютно	Не абсолютно
Однородно	Однородно
Изотропно	Относительность одновременности
«Лоренцево сокращение» длины предметов. Длина предмета зависит от движения системы	Замедление времени. Зависимость хода времени от движения системы

Первое принципиальное изменение относительно пространства заключается в том, что в отличие от субстанциональной концепции Ньютона (о его самостоятельном существовании, нечто первичным по отношению к материи) пространство лишилось своего независимого от материи существования. Оно перестаёт пониматься как вместителище тел. Говорить о нём можно только при условии наличия материальных тел и процессов, происходящих с этими телами. *Пространство – это способ описания отношений расположения предметов относительно друг друга*, т. е. оно неразрывно связано с материей. Данная концепция в отличие от прежней, субстанциональной, получила название реляционной.

Второе отличие связано с размерами (длинами) предметов, находящихся в движущихся системах отсчёта. Согласно СТО расстояние не является абсолютной величиной, а зависит от скорости движения тела относительно данной системы отсчёта.

«Лоренцево сокращение» заключается в том, что с точки зрения наблюдателя длины предметов, которые движутся относительно него, всегда имеют меньшую длину (линейные размеры в направлении движения), чем их собственная длина в системе отсчёта, в которой находится наблюдатель

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} = l_0 / \gamma;$$

где

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2} > 1, \quad \beta = v/c.$$

Таким образом, длина движущегося предмета оказывается всегда меньше длины покоящегося предмета. Сжатие размеров тел тем больше, чем больше скорость их движения. Однако следует заметить, что эффект становится значим только тогда, когда скорость движения приближается к скорости света.

Удивительно то, что А. Эйнштейн получил те же самые формулы преобразования, что и Лоренц, и Фитцджеральд для объяснения опытов Майкельсона – Морли. Однако для них оно было связано с реальными физическими изменениями, обусловленными эфирным ветром. Согласно их представлениям эфирный ветер сокращает длины плит интерферометра со всеми вмонтированными в них приборами. Для Эйнштейна же это связано с процедурой измерения.

К примеру, два космонавта, находящиеся на разных кораблях, начнут измерять длину соседней ракеты. Обнаруживается, что каждый космонавт найдёт длину внешней для него движущейся ракеты короче, чем длина собственной. Это не означает, что ракета физически сплюснулась. Процедура измерения обнаруживает, что длина стала короче. Причем длина одного и того же предмета будет совсем разной для различных измеряющих субъектов, если относительно них скорость движения измеряемого корабля различна.

Поясним на таком примере. Если два человека встанут по разные стороны огромной двояковыпуклой линзы, то каждый из них увидит другого мельче себя, но это не значит, что каждый из них меньше другого.

*Итак, длина в электромагнитной картине мира меняется и зависит от относительной скорости объекта и наблюдателя.*

Значительным изменениям подверглись и представления о времени. Макс Планк заявлял, что «Эйнштейновская концепция времени превосходит по смелости всё, что до этого было сделано в умоглядном естествознании. И даже в философской теории познания» ([URL: megaznanie.ru/index.php/...](http://URL: megaznanie.ru/index.php/...)).

Аналогично пространству время лишилось субстанциональности независимого существования. Оно, как и пространство, неразрывно связано с материей и стало пониматься как порядок, последовательность происходящих с материальными объектами событий. *Время – отношения последовательности событий друг за другом и их относительной длительности.* Другими словами, субстанциональная теория времени, как и в случае с пространством, заменилась реляционной.

Другое неклассическое свойство времени связано с отсутствием единого мирового времени, или относительностью одновременности.

В механике Ньютона одновременность двух событий абсолютна и не зависит от системы отсчёта. В СТО события, являющиеся одновременными в одной системе отсчёта, не являются одновременными в другой. В тридцатых годах XX столетия Л. И. Мандельштам говорил, что в проблеме одновременности «заключается гвоздь теории относительности». Если здесь достичь понимания, то всё остальное становится само собой понятным.

На рис. 8 расположена схема эксперимента, аналогичная мысленному эксперименту, предложенному Эйнштейном. Одна система отсчёта  $K$  связана с Землёй. В точке  $M$  находится наблюдатель. Другая система связана с вагоном, движущимся относительно Земли прямолинейно и равномерно со скоростью  $v$ . В точке  $M'$  также находится наблюдатель. На Земле и в вагоне отмечены точки  $A, M, B$  и соответственно  $A', M', B'$ , причем  $AM = MB$  и  $A'M' = M'B'$ . В момент, когда положения наблюдателей совпадают, в точках  $A$  и  $B$  происходят события – ударяют две молнии. В системе  $K$  (на Земле) сигналы от обоих вспышек придут в точку  $M$  одновременно, так как  $AM = MB$ , и скорость света одинакова во всех направлениях. В системе  $K'$ , связанной с вагоном, сигнал из точки  $B'$  придет в точку  $M'$  раньше, чем из точки  $A'$ , поскольку  $M'$  движется навстречу сигналу, пущенному из точки  $B'$ , и удаляется от сигнала, пущенного из точки  $A'$ . Значит, наблюдатель в вагоне делает вывод о том, что события в точках  $A'$  и  $B'$  неодновременны: событие в точке  $B'$  произошло раньше, чем в точке  $A'$ . Если бы вагон двигался в обратном направлении, то получился бы обратный результат ([URL: physicexperts.ru/pexps-721-1.html](http://physicexperts.ru/pexps-721-1.html)).

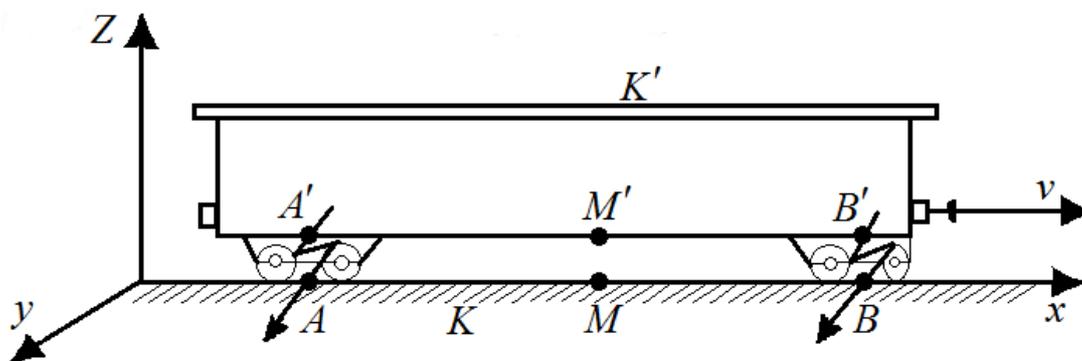


Рис. 8

Другой пример. Рассмотрим вагон, который движется вправо с некоторой скоростью. В точке  $S$ , находящейся в центре вагона, происходит световая вспышка. По вагонным часам свет придёт в точки  $A$  и  $B$ , находящиеся на задней стенке и передней стенке вагона одновременно. Но в системе отсчёта, связанной с Землёй, картина окажется иной. Точка  $A$  (на задней стенке вагона) движется навстречу сигналу, а точка  $B$  (на передней стенке вагона) удаляется от него; поэтому для достижения точки  $A$  свету потребуется пройти меньшее расстояние, чем для достижения точки  $B$ . Следовательно, по земным часам свет придёт в точку  $A$  раньше, чем в точку  $B$ . Таким образом, два события – приход сигнала от источника  $S$  в точки  $A$  и  $B$  – являются одновременными в системе отсчёта вагона и неодновременными в системе отсчёта Земли.

Другими словами, нет единого абсолютного времени во Вселенной. Абсолютная одновременность событий, происходящих в разных точках пространства, лишена смысла. Ещё одно парадоксальное свойство времени в электромагнитной картине мира связано с зависимостью длительности процессов (промежутков времени) со скоростью системы.

Согласно преобразованиям СТО выявляется *эффект замедления хода времени*, который считается основным проявлением относительности времени в релятивистской механике.

Если два события происходят в одной и той же точке пространства в некоторой системе отсчёта и интервал времени, измеренный по часам неподвижного наблюдателя, оказался равным  $\tau_0$ , то для наблюдателя в другой системе, которая движется относительно первой с постоянной скоростью  $v$ , интервал времени между двумя этими событиями будет равен  $\tau$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Здесь  $c$  – скорость света.

Интервал  $\tau$  всегда больше интервала  $\tau_0$ , который называется собственным временем. Это означает, в частности, что ход часов, движущихся относительно наблюдателя, замедляется. Другими словами, движущиеся часы всегда отстают от неподвижных, если в

начальный момент они имели одинаковые показания. Этот вывод теории относительности вытекает из постулата о постоянстве скорости света в различных системах отсчета.

В форме парадокса эффект замедления времени сформулировал в 1911 г. Поль Ланжевен. Придание парадоксу наглядной истории космического путешествия сделало его популярным, в том числе и в ненаучных кругах. *Парадокс близнецов* – одна из наиболее известных попыток демонстрации противоречивости специальной теории относительности. В основу кажущегося противоречия положена относительность релятивистского замедления времени, которое должно наблюдаться в системах отсчёта, движущихся относительно наблюдателя.

Содержание парадокса сводится к следующему. Один из братьев-близнецов отправляется на космическом корабле на некое небесное тело, находящееся на расстоянии  $t_0$  световых лет от Земли, и возвращается обратно. Если скорость корабля  $u$ , то по земным часам время этого путешествия будет

$$\tau = \frac{2l}{u} = \frac{2ct_0}{u}.$$

По часам космического корабля оно продлится меньше

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - u^2/c^2}.$$

Подбором величин  $t_0$  и  $u$ , входящих в эти формулы, можно получить, что в конце путешествия по часам корабля прошло, например, 20 лет, а по земным часам – 120 или более. То есть близнецу, оставшемуся на Земле, если бы он мог столько прожить, было бы 140 лет, а близнец-космонавт вернется на Землю в возрасте 40 лет(!).

Другой пример. Представим себе, что с Земли стартовал космический корабль со скоростью 0,99 или 0,98 скорости света и вернулся обратно через 50 лет, прошедших на Земле. Но согласно теории относительности по часам корабля этот полет продолжался бы всего лишь год. Если космонавт, отправившись в полет в возрасте 25 лет, оставил на Земле только что родившегося сына, то при встрече 50-летний сын будет приветствовать 26-летнего отца.

Весьма впечатляющие результаты расчетов приводятся Э. Макмилланом. Некий космонавт отправился с Земли к спиральной туманности Андромеды, до которой около двух миллионов световых лет. Заданы условия полёта. Космонавт первую половину дороги прохо-

дит с постоянным ускорением  $2g$ , затем с постоянным замедлением в  $2g$  вплоть до достижения туманности. Обратный путь совершается тем же способом. В этом случае согласно собственным часам космонавта продолжительность путешествия составит 29 лет. Но согласно СТО по земным часам пройдет почти 3 миллиона лет (URL: royallib.com/read/martin\_gardner...копия).

Именно подобные расчёты послужили выдвигению многочисленных возражений против идей Эйнштейна. На основе данных расчётов сам Макмиллан полагает, что теория относительности – это печальное недоразумение. Новую теорию высмеивали юмористические журналы и эстрадные куплетисты.

Наиболее сильное из когда-либо выдвинутых против парадокса близнецов возражение Дингля заключается в следующем. Согласно общей теории относительности не существует никакого абсолютного движения, нет «избранной» системы отсчета. Следовательно, когда за систему отсчета принята Земля, то космонавт совершает длительное путешествие, возвращается и обнаруживает, что стал моложе брата-домоседа. Но систему отсчета можно связать с космическим кораблем. Теперь длительное путешествие проделала Земля. В этом случае домоседом будет тот из близнецов, который находился в космическом корабле. Когда Земля возвратится, то брат, находящийся в космическом корабле, должен быть моложе. Ясно, что каждый из близнецов не может быть моложе другого.

Дингль хотел бы сделать из этого вывод: или необходимо предположить, что по окончании путешествия возраст близнецов будет в точности одинаков, или принцип относительности должен быть отброшен.

Не выполняя никаких вычислений, нетрудно понять, что в данном случае имеется одно очень важное различие между относительным движением космонавта и относительным движением домоседа. Домосед неподвижен относительно Вселенной. Сам А. Эйнштейн связывал это с влиянием гравитационного поля. При движении Земли вся Вселенная двигалась бы с нею. При повороте Земли поворачивалась бы и Вселенная. Это ускорение Вселенной создало бы мощное гравитационное поле, что сказалось бы на ходе времени часов. Это поле замедлило бы время на корабле на столько же, на сколько оно замедляется при движении корабля.

Эффект замедления времени представляет собой как бы узловой пункт СТО. Пока отсутствовали экспериментальные доказательства релятивистского растяжения времени, существование этого явления оспаривалось особенно горячо. Однако в настоящее время абсолютным большинством физиков считается, что формула замедления времени получила свое подтверждение в области элементарных частиц. В частности, с успехом было объяснено кажущееся на первый взгляд «странное» поведение  $\mu$ -мезонов, которые образуются космическими лучами в верхних слоях атмосферы Земли на высоте 20 – 30 км. Теоретические расчёты показывают, что они нестабильны и приблизительно через  $2 \cdot 10^{-6}$  с после рождения распадаются, образуя электрон и нейтрино. Мезоны движутся со скоростями, близкими к скорости света, значит, за время своей «жизни» они не могут пройти расстояние, большее чем 600 см. Но эти частицы регистрируются счетчиками не только на поверхности Земли, но и в подземных шахтах. Это объясняется только СТО – эффектом замедления времени. Указанное малое время жизни – это собственное время «жизни» мезона. По показаниям земных часов время «жизни» мезона определяется по формуле замедления времени, которое благодаря большой скорости частицы несравнимо больше собственного времени жизни. Именно в этом причина того, что эти частицы достигают поверхности Земли и фиксируются приборами ([URL: rud.exdat.com/docs/index-776857....копия](http://rud.exdat.com/docs/index-776857...)).

Данный эффект проверялся и специальными опытами. Один из них был осуществлён в 1971 г. Один цезиевый эталон времени был помещён на самолёт, который летал вокруг Земли целый месяц, не опускаясь на Землю. Второй эталон времени находился в лаборатории. По расчётам Лоренцевых преобразований на самолёте (движущейся системе) часы должны были отстать на 184 нс. Зафиксированное отставание составило 203 нс. Подобные опыты проводились не раз, и вновь релятивистский эффект замедления времени подтверждался. Один из них провели ученые Мичиганского университета. Исследователи поместили на борт авиалайнера, который регулярно совершал трансатлантические рейсы, сверхточные атомные часы. Каждый раз после возвращения его в аэропорт показания этих часов сверялись с контрольными. Оказалось, что часы на самолете каждый раз все больше отставали от контрольных. Конечно, речь шла лишь о незначительных цифрах, долях секунды, но сам факт весьма показате-

лен (URL: <http://fb.ru/article/228636/teoriya-otnositelnosti---chto-eto-takoe-postulaty-teorii-otnositelnosti-vremya-i-prostranstvo-v-teorii-otnositelnosti>).

Фактически причиной острейших дискуссий о специальной теории относительности является несостоятельность классических представлений о пространстве и времени, и в частности, неправильное предположение о возможности мгновенной передачи взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую. Существование предельной конечной скорости передачи взаимодействий вызывает необходимость глубокого изменения обычных представлений о пространстве и времени, основанных на повседневном опыте, в чём и заключается заслуга А. Эйнштейна.

Следствием утверждения СТО стало изъятие из концептуальной структуры физики признаков абсолютного движения, абсолютного пространства, абсолютного времени и абсолютной инерциальной системы и появление новых фундаментальных понятий.

В 1908 г. немецкий математик Герман Минковский, учивший Эйнштейна в Цюрихском политехникуме, создал для специальной теории относительности математический аппарат. В своём знаменитом докладе на съезде немецких естествоиспытателей и врачей 21 сентября 1908 г. Минковский сказал: «Отныне пространство само по себе и время само по себе полностью уходят в царство теней, и лишь своего рода союз обоих этих понятий сохраняет самостоятельное существование... Отныне пространство и время превращаются в простой мираж. И лишь их своеобразное единство может претендовать на независимость или абсолютное существование» (URL: [megaznanie.ru/index.php/...копия](http://megaznanie.ru/index.php/...копия)). С тех пор «мир Минковского» стал неотъемлемой частью специальной теории относительности.

В конечном итоге в картине мира, нарисованной Эйнштейном, однородным и оказываются не пространство и время, взятые в отдельности, а четырёхмерный пространственно-временной континуум. В этом смысле теория относительности – это новый этап учения об однородности пространства-времени – стержневой идее науки, начиная с XVII века. «Чтобы сделать необходимый шаг вперёд и сказать, что пространство и время связаны между собой, понадобилось ещё много лет и смелость Эйнштейна. Теперь этот шаг кажется маленьким шагом вперёд, но в те дни сделать его было очень трудно» (П. Дирак) (URL: [gpntb.ru/elres/binom/MetaPhys.pdf](http://gpntb.ru/elres/binom/MetaPhys.pdf)).

Классические представления, кажущиеся наглядными и очевидными, в действительности оказались несостоятельными. Многие понятия и величины, которые в нерелятивистской физике считались абсолютными, т. е. не зависящими от системы отсчета, в эйнштейновской теории относительности переведены в разряд относительных. Макс Планк подчёркивал значение принципиально новых идей, говоря, что если теория Эйнштейна окажется верной, то его будут считать Коперником XX столетия.

Принципиальным изменениям подверглись математические классические преобразования. На смену галилеевых специальная теория относительности предложила другие формулы преобразования при переходе из одной инерциальной системы в другую – так называемые преобразования Лоренца, которые при скоростях движения, близких к скорости света, позволяют объяснить все релятивистские эффекты.

Анализ Лоренцовых преобразований показывает, что новая теория (СТО) не отвергла старую классическую механику Ньютона, а только уточнила пределы её применимости. Теория относительности включает в себя Ньютонову механику как предельный случай механики движений, скорости которых значительно меньше скорости света в вакууме. В случае движения тел со скоростями, во много раз меньшими, чем скорость света, преобразования Лоренца становятся тождественными преобразованиям Галилея. Возникновение и становление новых представлений о пространстве и времени обусловили появление и оформление принципа соответствия как принципа и критерия проверки достоверности новых возникающих теорий и физических гипотез.

### **Вопросы для контроля**

Какие свойства пространства были изменены в электромагнитной картине мира?

Что такое пространство в ЭДКМ? Почему оно не абсолютно?

Что такое «Лоренцево сокращение длины»?

Каким образом надо понимать «Лоренцево сокращение длины»?

Какой опыт изъят из физической картины мира эфир? Каково значение этого опыта для развития физики?

Какие свойства времени были изменены в электромагнитной картине мира?

Что такое время в ЭДКМ? Почему оно не абсолютно?

На какой модели можно пояснить относительность одновременности?

Что означает релятивистский эффект замедления времени?

Что такое «парадокс близнецов»? Что пытались обосновать с его помощью?

Почему «парадокс близнецов» считается экспериментально доказанным?

Что пришло на смену отдельно существующим пространству и времени в ЭДКМ?

#### **§ 4. Принцип относительности и понятие причинности в электродинамической картине мира**

Новое надобно созидать в поте лица, а старое само продолжает существовать и твёрдо держится на костылях привычки.  
*А. И. Герцен*

Напомним, причинность – философская категория, в самом общем абстрактном смысле выражающая зависимость существования одних явлений (фрагментов) физической действительности от существования других явлений (её фрагментов) *в прошлом*.

Причинность отражает всеобщую необходимую связь между предметами, явлениями. При этом причиной называют такое явление, которое порождает другое, выступающее в данном отношении как следствие.

В современном естествознании под причинностью прежде всего понимается связь состояний системы во времени, такая, что на основе знания предшествующего состояния системы можно предсказать её последующие состояния.

Концепция причинности в классической механике исходит из идеи о том, что если в данный момент времени точно известны координаты и импульсы всех частиц системы, то однозначно определено её состояние. Зная характер зависимости сил взаимодействия от коор-

динат и скоростей, можно с помощью уравнений движения классической механики по состоянию системы в начальный момент времени определить однозначно её состояние в любой последующий момент. Поэтому состояние механической системы в начальный момент времени (набор её импульсов и координат) наряду с известным законом взаимодействия частиц может рассматриваться как причина, а состояние в последующий момент – как следствие. В этом суть представлений о динамической, или однозначной, причинности в классической физике – суть классического детерминизма. Иными словами, все причинно-следственные связи однозначные (лапласовский детерминизм). В результате мир функционирует с точностью отлаженного часового механизма: огромный космический механизм подчинён законам классической механики, которые и управляют движением всей Вселенной.

В классической механике закон причинности сращен с концепцией дальнего действия и вытекающего отсюда представления об абсолютной одновременности, существовании единого мирового времени во Вселенной. Существенным для причинно-следственных связей является временное предшествование причины по отношению к следствию.

Первоначально представлялось, что в классической электродинамике никаких неожиданностей быть не может. Причинно-следственные связи выражаются уравнениями Максвелла. Электричество порождает магнетизм, а магнетизм – электричество (первые уравнения Максвелла), что приводит к возникновению и распространению электромагнитных волн. Эти уравнения позволяют рассчитать значения силовых характеристик электромагнитного поля (вектора напряжённости  $\vec{E}$  электрического поля и вектора магнитной индукции магнитного поля  $\vec{B}$ ) в любой интересующий момент времени, и предсказать все энергетические особенности электромагнитных процессов. Зная компоненты  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  в данной точке и в данный момент времени, можно найти их значения в любой точке и момент времени. Зная эти характеристики поля, можно найти силы, заряды и токи, т. е. эта система уравнений для электромагнитного поля ни в малейшей степени не изменила представлений об абсолютной причинности. Как и классическая механика, теория Максвелла позволяет по точно фиксированным значениям величин в начальный момент времени и заданным граничным условиям однозначно найти значения этих вели-

чин в последующие моменты. Состояние системы определяют новые величины (характеристики полей вместо координат и импульсов), но в остальном всё остаётся неизменным.

Однако в связи с развитием специальной теории относительности возник целый ряд острейших дискуссионных вопросов. Один из них вытекал из относительности одновременности одного и того же события в разных системах отсчёта («вагон Эйнштейна»).

Допустим, что в некоторой системе отсчёта событие А является причиной события В. Исходя из равноправности всех систем отсчёта в электромагнитной картине мира, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, возникает вполне логический вопрос: не найдётся ли система отсчёта, в которой событие В будет предшествовать А? Другими словами, не найдется ли такая система, где следствие произошло раньше причины? К примеру, сначала упал убитый заяц или утка, а потом прогремел выстрел? Сначала произошёл взрыв, а потом выстрел пушки? Логически обязательно найдутся системы отсчета, в которых неродившиеся дети явятся в гости к своим юным, еще не познакомившимся родителям, поезда до отправления из Москвы станут прибывать во Владимир и т. д.

Ещё один момент. В классической механике с законом причинности сращено представление о концепции дальнего действия, согласно которой передача взаимодействия может быть бесконечно большой. В этом случае причина и следствие вообще должны происходить одновременно.

От неразберихи причинно-следственных связей спасает только постулат о постоянстве скорости света. *Чтобы связь между событиями имела объективный характер и не зависела от системы координат, в которой она рассматривается, необходимо, чтобы никакие материальные воздействия, осуществляющие физическую связь событий, происходящих в различных точках, не могли передаваться со скоростью, большей скорости света.*

То есть от хаоса нарушений причинно-следственных связей спасает постулат СТО об инвариантности скорости света. Это максимально большая скорость передачи взаимодействия, на основе которой причина всегда предшествует следствию. Любое превышение предельной скорости передачи взаимодействия немедленно приведёт к катастрофе – распаду причинного хода событий.

Следовательно, передача физического влияния из одной точки в другую не может происходить со скоростью, большей скорости света. При этом условии причинная связь событий носит абсолютный характер: не существует системы координат, в которой причина и следствие меняются местами. Когда речь идет о событиях причинно связанных, то в любых системах отсчета причина предшествует следствию. Для них понятия «раньше» и «позже» справедливы абсолютно. Для событий, причинно не связанных, «раньше» и «позже» в разных системах отсчета могут меняться местами и сливаться воедино — именно здесь разыгрывается удивительная эйнштейновская относительность одновременности.

Таким образом, в общем случае понятие причинности в электродинамической картине мира (ЭДКМ) существенно расширилось и углубилось. Во-первых, согласно представлениям ЭДКМ *причинность есть отношение не между вещами, а между событиями*. Именно понятие события, которое характеризуется не только местом, где оно произошло, но и временем, когда оно произошло, дает возможность поставить пространственно-временные условия причинно-следственной связи. С точки зрения теории относительности понятие события необходимо для формулировки принципа причинности.

Во-вторых, условие, по которому скорость причинного действия конечна и не может превышать скорости света в вакууме, приводит к

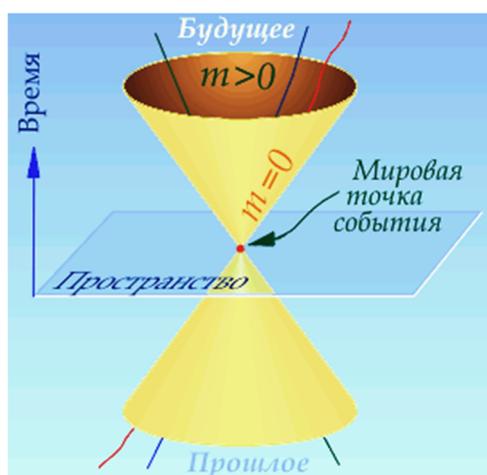


Рис. 9

введению представления об инвариантности пространственно-временного интервала. Причинно связанными могут быть лишь такие события, квадрат расстояния между которыми (в трехмерном пространстве)  $dl^2$  не превышает величины  $c^2 dt^2$ , где « $c$ » — скорость света,  $dt$  — промежуток времени, разделяющий данные события.

Впоследствии на основе разработки математического аппарата СТО было введено понятие светового конуса, с помощью которого наглядно представлены различные виды событий, которые могут и не могут быть связанными причинно-следственными связями (рис. 9).

**Световой конус** (*изотропный конус, нулевой конус*) – гиперповерхность в пространстве-времени, ограничивающая области будущего и прошлого. Вершина разделяет поверхность светового конуса на две части. Одна часть поверхности лежит в области будущего по отношению к вершине и содержит все события, которых может достичь световой сигнал из вершины.

Например, в событии-вершине произошла мгновенная вспышка. Другая часть содержит все события в прошлом, такие, что испущенный из них световой сигнал может достичь вершины. Поскольку никакой сигнал не может распространяться быстрее света, световой конус имеет прямое отношение к причинно-следственной структуре пространства. Угол наклона светового конуса ограничен модулем скорости света. Сам конус разделяет всё пространство-время на три части по отношению к вершине. Первая часть – область абсолютного прошлого (*конус прошлого*; все события, которые могли повлиять на событие в вершине). Вторая часть – область абсолютного будущего (*конус будущего*; все события, на которые влияет событие в вершине конуса). Третья часть – область *абсолютно удалённого* (события, не связанные с вершиной причинно-следственными связями, области слева и справа). Таким образом, причинно-следственными связями могут быть связаны события, находящиеся только внутри светового конуса. Следовательно, поверхность светового конуса отделяет события, которые могут находиться в причинной связи с событием в вершине конуса, от событий, для которых это невозможно. Именно с этим связано фундаментальное значение понятия «световой конус».

*Если расстояние между событиями больше, чем то, которое может за данный промежуток времени покрыть световой сигнал, то они принципиально не могут быть связанными причинно-следственными связями.*

Резюме. Релятивистская концепция причинности, возникшая на основе пространственно-временных представлений теории относительности, рядом существенных пунктов отличается от причинности, принятой классической физикой. Релятивистская причинность рассматривает причину и следствие не как вещи, а как события, разделенные временным интервалом. Новая концепция углубила понимание сущности причинности. В частности, она разрешила старый спор о том, одновременны или разновременны причина и следствие, показав, что причина всегда предшествует

следствию во времени. Временной отрезок между причиной и следствием не может быть меньше определённой величины.

Введено представление об инвариантности пространственно-временного интервала. Абсолютность интервала имеет еще и то значение, что указывает нам на необходимость при рассмотрении любых событий определять не только их расположение в пространстве, но и моменты времени, когда эти события происходят.

Ещё весьма важный момент. Законы электродинамики, как и законы классической механики, все ещё однозначно предопределяли события, которые они описывали, поэтому случайность пытались исключить из электромагнитной картины мира. Однако в середине XIX века впервые появилась фундаментальная физическая теория нового типа, которая основывалась на теории вероятности, статистических закономерностях. Это была кинетическая теория газов, или статистическая механика. Молекулярно-кинетическая теория впервые показала несостоятельность механического *детерминизма* и плодотворность статистического, вероятностного подхода в отношении многочастичных систем. В молекулярно-кинетической теории появился совершенно новый подход к описанию состояния системы. Состояние описывалось теперь не значениями физических величин, а *вероятностями* этих значений. Этот подход оказался чрезвычайно плодотворным при построении фундаментальных естественнонаучных теорий XX века. Значительный вклад в развитие молекулярной теории внёс Максвелл, который считается не только создателем классической электродинамики, но и одним из основоположников статистической физики. Он установил статистическое распределение молекул по скоростям, названное его именем.

Случайность, вероятность постепенно начинали входить в физическую понятийную систему и занимать свое место в физике в форме так называемых статистических законов. Однако физики не оставляли надежды найти за вероятностными характеристиками чёткие однозначные законы, подобные законам Ньютона, и считали вновь созданную теорию промежуточным вариантом, временной мерой. Тем не менее кардинальный шаг был сделан: в электромагнитную картину мира вошло понятие вероятности.

Формирование электромагнитной картины мира происходило достаточно долгое время. Она продолжала совершенствоваться и в XX столетии. Подводя итоги, можно отметить, что фундаментальные

положения электромагнитной картины мира стали принципиально иными по сравнению с представлениями механической картины мира (табл. 4).

Таблица 4

<p>Материя</p>	<p>Представления о материи кардинально изменились: корпускулярные идеи уступили место континуальным (полевым). Место вещества (корпускулярного, дискретного в своей сущности) заняло единое, абсолютно непрерывное, бесконечное электромагнитное поле с силовыми точечными центрами – электрическими зарядами. Согласно электромагнитной картине мира материя существует в двух видах – вещество и поле. Они строго разделены, и их превращение друг в друга невозможно. Главным из них считается поле, а значит, основным свойством материи является непрерывность в противовес дискретности, континуальность материи. Утверждена идея материальности электромагнитного поля, т. е. реальности его существования. Известны два вида поля: электромагнитное и гравитационное.</p> <p>Идея дискретности материи в виде строения вещества присутствовала на основе электронной теории Лоренца. В качестве элементарных «кирпичиков», из которых состоит вещество, рассматриваются три частицы: электрон, протон и фотон. Важнейшим следствием СТО явилась знаменитая формула Эйнштейна о взаимосвязи массы и энергии <math>E = mc^2</math>. Масса стала не только мерой инертности и гравитации, но и мерой содержания энергии. В результате два закона сохранения – массы и энергии – были объединены в один общий закон сохранения массы и энергии</p>
<p>Движение</p>	<p>Понятие движения расширилось. Оно стало пониматься не только как простое механическое перемещение вещественных тел, но и как распространение электромагнитных колебаний, но не с помощью гипотетического эфира. Гипотеза эфира была отброшена. Электромагнитное поле распространяется в виде поперечных электромагнитных волн со скоростью света, захватывая постоянно новые области пространства. Заполнение пространства электромагнитным полем описывается уравнениями Максвелла, из которых следует возможность распространения поля в виде электромагнитных волн, которые могут распространяться и в веществе, и в вакууме. Соответственно законы механики Ньютона уступили свое господствующее место законам электродинамики Максвелла (уравнения Максвелла). Утвердился новый принцип движения – самостоятельное распространение электромагнитных волн, включая вакуум</p>

Взаимодей- ствие	<p>Взаимодействие осуществляется с помощью принципиально нового вида взаимодействия – электромагнитного взаимодействия. Новая картина мира рассматривает механизм электромагнитного взаимодействия принципиально иначе, чем МКМ. Ньютоновский принцип дальнего действия заменялся фарадеевским принципом ближнего действия, который утверждал, что любые взаимодействия передаются полем от точки к точке непрерывно и с конечной скоростью. Электромагнитное взаимодействие объясняет не только электрические и магнитные явления, но и другие: оптические, химические, тепловые; всё стремится свести к электромагнетизму. Утверждено представление о существовании максимально большой скорости передачи взаимодействия – скорости света.</p> <p>Вне сферы господства электромагнетизма оставалось лишь тяготение. Именно поэтому в рамках ЭМКМ А. Эйнштейном была предпринята одна из первых попыток разработать единую теорию гравитационного и электромагнитного взаимодействия</p>
Пространство	<p>Отвергнуто абсолютное, независимое существование пространства как вместилища материи. <i>Пространство – это способ описания отношений расположения предметов относительно друг друга.</i> Пространство неразрывно связано с материей. Данная концепция в отличие от прежней субстанциональной получила название реляционной.</p> <p>Сохранились, как и в механической картине мира, свойства однородности и изотропности пространства. Из постулатов СТО следовала относительность длины, т. е. зависимость длин и расстояний от системы отсчета – Лоренцево сокращение длины. <i>Длина в электромагнитной картине мира меняется и зависит от относительной скорости объекта и наблюдателя.</i> Длина движущегося предмета меньше длины покоящегося предмета. Сжатие размеров тел тем больше, чем больше скорость их движения. Эффект сокращения становится значим только тогда, когда скорость движения приближается к скорости света.</p> <p>Из преобразований Лоренца, выведенных для перехода от одной инерциальной системы отсчета (ИСО) к другой, следовало, что пространство и время связаны между собой и образуют единый четырехмерный мир (пространственно-временной континуум Минковского). Свойства пространственно-временного континуума (метрика Мира, его геометрия) определяются распределением и движением материи</p>

Время	<p>Отвергнуто абсолютное, независимое существование времени как чистой длительности процессов. <i>Время – отношения последовательности событий друг за другом и их относительной длительности.</i> Субстанциональная теория времени заменилась реляционной. Сохранилась однородность времени, как и в механической картине мира.</p> <p>Отвергнуто существование единого мирового времени, в связи с чем введено представление об относительности одновременности. Согласно преобразованиям СТО существует <i>эффект замедления хода времени</i>, который можно назвать основным проявлением относительности времени в релятивистской механике. Время течёт неравномерно. Ход часов, движущихся относительно наблюдателя, замедляется. Движущиеся часы всегда отстают от неподвижных часов, если в начальный момент они имели одинаковые показания. Этот вывод теории относительности вытекает из постулата о постоянстве скорости света в различных системах отсчета. Эффект замедления времени (парадокс близнецов) подтверждается физикой элементарных частиц – регистрацией мезонов на поверхности Земли и специально проводимыми экспериментами с самолётами. Углубление представлений об однородности времени связано с введением понятия четырёхмерного пространственно-временного континуума</p>
Причинность	<p>Какого-либо принципиально нового понимания причинности по сравнению с МКМ не произошло. И в этой картине мира также господствуют однозначные причинно-следственные связи, выраженные уравнениями Максвелла. Зная компоненты <math>\vec{E}</math> и <math>\vec{B}</math> в данной точке и в данный момент времени, можно найти их значения в любой точке и любой момент времени. Зная эти характеристики поля, можно найти силы, заряды и токи. Всё, как и в механической картине мира, жестко предопределено.</p> <p>Открытые Максвеллом и Больцманом вероятностные закономерности не признавались фундаментальными и не включались ни в механическую, ни в электромагнитную картину мира.</p> <p>Углубление представлений о причинно-следственных связях связано с введением понятия светового конуса, с помощью которого выявлено существование разных типов событий – тех, которые могут быть принципиально связанными причинно-следственными связями (внутри конуса) и объективно не связанными друг с другом (вне светового конуса)</p>

Как видим, электромагнитная картина мира по сравнению с механической представляла собой значительный шаг вперёд в познании окружающего мира. Многие детали электромагнитной картины мира сохранились и в современной естественнонаучной картине мира: понятие электромагнитного поля, электромагнитная природа сил, свойства пространства-времени, введённые специальной теорией относительности, и многое другое.

Но вместе с тем новая концепция сама столкнулась с рядом трудностей, затрагивающих сами основы новой картины мира.

Дальнейшее развитие физики показало, что ЭДКМ имеет ограниченный характер. Главная трудность заключалась в том, что континуальное понимание материи не согласовывалось с опытными фактами, подтверждающими дискретность многих её свойств – заряда, излучения, действия. Не удавалось объяснить соотношения между полем и зарядом, устойчивость атомов, их спектры, явление фотоэффекта, излучение абсолютно черного тела. Всё это свидетельствовало об относительном характере ЭДКМ и необходимости замены её новой картиной мира.

Вскоре на смену ЭДКМ пришла квантово-полевая картина мира (КПКМ), объединившая дискретность МКМ и непрерывность ЭДКМ.

### **Вопросы для контроля**

Что понимается под причинностью как философской категории?

Что понимается под причинностью в МКМ?

Как понимается причинность в ЭДКМ?

Что изменилось и что осталось прежним в концепции причинности в электромагнитной картине мира по сравнению с механической?

Охарактеризуйте световой конус, какова причина его появления в физике?

Что представляет собой наклон светового конуса?

Каким образом в электромагнитную картину мира вошло понятие вероятности?

Какие принципиальные изменения в представлениях о природе материи, движения, взаимодействия, пространства, времени, причинности произошли в ЭДКМ?

## Глава III. КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА

### § 1. Концепция корпускулярно-волнового дуализма как методологическая основа новых представлений о природе материи и движении в квантово-полевой картине мира

XX век – это век бегства от чуда.

*А. Эйнштейн*

В начале XX века в физике произошёл кардинальный переворот в стиле научного мышления, который получил образное название «квантовый мятеж». Связан он с рождением новой физической теории – квантовой механики.

Становление квантовой механики происходило в несколько этапов.

*Первый* (конец XIX века – 1912 г.). Исследования в спектроскопии, изучение излучения абсолютно чёрного тела, фотоэффект, строение атома.

*Второй* (1913 – 1922 гг.). Квантовая теория Бора, опыты Франка и Герца.

*Третий* (1923 – 1927 гг.). Эффект Комптона, Луи де Бройль о распространении идеи корпускулярно-волнового дуализма на все микрообъекты, матричная механика В. Гейзенберга, уравнение Э. Шрёдингера (волновая физика, волновая механика), вероятностная интерпретация волновой функции (М. Борн, 1926 г.).

Один из первых создателей квантовой физики Макс Планк в своих воспоминаниях писал, что когда он начал физические занятия (1880 г.) и спросил у своего учителя Филиппа Жоли ответа о перспективах его занятий, тот представил ему физику как высокоразвитую, почти созревшую науку, которая должна скоро принять окончательную устойчивую форму после того, как она будет увенчана открытием принципа сохранения энергии. Конечно, отмечал Жоли, в том или ином уголке можно ещё заметить или удалить пылинку или пузырёк, но система как целое стоит довольно прочно, и теоретическая физика заметно приближается к той степени совершенства, которой уже обладает геометрия.

Однако данным надеждам не суждено было сбыться. Физиками, изучавшими излучение абсолютно чёрного тела, была обнаружена так называемая «ультрафиолетовая катастрофа» (рис. 10).

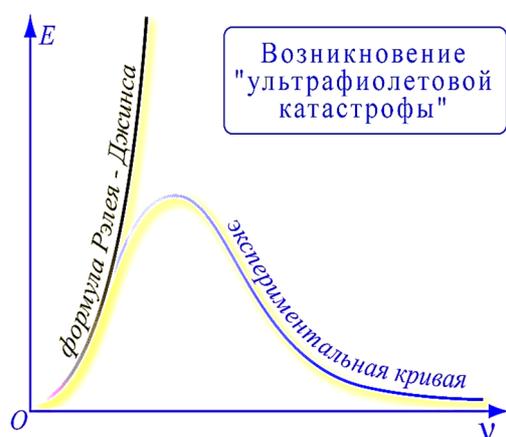


Рис. 10

«Ультрафиолетовая катастрофа» – парадокс классической физики, состоящий в том, что полная суммарная мощность теплового излучения абсолютно чёрного тела должна была быть по классическим законам бесконечной. Следовательно, по прогнозам, все излучающие нагретые тела должны через некоторое время лишиться своей энергии за счёт излучённых электромагнитных волн. Однако экспериментальная кривая оказалась совершенно иной. Реальная кривая показывает, что максимум наблюдается при конкретной частоте, т. е. при изучении спектра испускания абсолютно чёрного тела физика не смогла объяснить распределение энергии по длинам волн. Это расхождение между теоретической и экспериментальной кривыми распределения плотности энергии излучения в спектре абсолютно чёрного тела, т. е. различие между теорией и опытом, настолько поразило физиков, что было названо «ультрафиолетовой катастрофой».

Среди ученых, бившихся над разрешением данной проблемы, были очень известные физики: лорд Рэлей, Вильгельм Вин, Джеймс Джинс, московский профессор В. А. Михельсон.

Проблема усугублялась тем, что для физиков конца XIX века не существовало сомнений в правильности классических положений электродинамики Максвелла. Но дальнейшие логичные и обоснованные математические расчеты неизменно приводили к формулам, выводы из которых совершенно расходились с экспериментом. Из этих формул следовало, что, к примеру, раскаленная печь должна с течением времени отдавать всё больше тепла в окружающее пространство и яркость её свечения должна все больше возрастать. Современник «ультрафиолетовой катастрофы», уже известный нам физик Лоренц, грустно замечал по этому поводу, что «уравнения классической физики оказались неспособными объяснить, почему угасающая печь не испускает желтых лучей наряду с излучением больших длин волн...» (URL: ProActiven.ru>mir-fiziki-mark-koltun/).

Впоследствии формула, позволяющая рассчитать плотность энергии излучения в низкочастотной части спектра, была найдена и называется законом Рэлея – Джинса. Для области высоких частот справедлива вторая формула Вина. Она является частным конкретным случаем первого закона Вина.

Очевидно, что загадка, связанная с «ультрафиолетовой катастрофой», должна быть увязана с введением в физику каких-то новых принципиальных идей, которые не содержались в электродинамике Максвелла.

Решающий шаг в этом направлении был предпринят немецким физиком Максом Планком в 1900 г. Согласно гипотезе Планка электроны атомов излучают свет не непрерывно, а отдельными порциями – *квантами*. Энергия кванта  $W$  пропорциональна частоте колебаний  $\nu$ :  $W = h\nu$ , где  $h$  – постоянная Планка,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. Используя это предположение, Планк сумел получить закон распределения энергии в спектре, соответствующий опытным данным.

Таким образом, чтобы найти верную формулу, Планк был вынужден ввести чуждую для классической электродинамики гипотезу о дискретности волнового излучения. Сам Планк замечал по этому поводу, что введение данной гипотезы было своеобразным «актом отчаяния» и что это была чисто формальная гипотеза. Более того, в течение последних 40 лет своей жизни Планк пытался устранить своё открытие из мира.

Действительно, гипотеза Планка резко противоречит представлениям классической электродинамики. Согласно последней электромагнитные волны излучаются зарядом, движущимся ускоренно. Ускоренное движение частиц никаких скачков не предполагает. Следовательно, гипотеза Планка подрывает не только основы электродинамики, но и механики.

С введением гипотезы Планка в физику началась новая эра – эра квантовой физики. Это «предвещало нечто совершенно новое, что, казалось требовало преобразования самых основ нашего физического мышления... , покоившегося ... на предположении о непрерывности...», – писал Планк ([URL: CyberLeninka.ru](http://URL: CyberLeninka.ru) «Научные статьи»... kvantu-planka-i-teoriya).

Известный физик того времени Макс Борн характеризовал введённую идею квантования событием первостепенной важности, сравнимую с научными революциями, осуществлёнными Галилеем и Ньютоном, Фарадеем и Максвеллом. По его мнению, подобно тем революциям, эта также существенно изменила облик физики и оказала глубокое влияние на смежные науки – от химии до биологии.

Квантовые представления о дискретном характере электромагнитного и светового излучения, введенные в науку Планком, развил далее Эйнштейн. Он пришёл к выводу, что свет не только излучается, но и распространяется в пространстве, и поглощается веществом в виде квантов. Причиной утверждения новых представлений явилось изучение фотоэффекта.

Открытие фотоэффекта началось с исследований Генриха Герца в 1887 г., который, работая с открытым резонатором, заметил, что прохождение искры между разрядниками существенно облегчается, если посветить на них ультрафиолетом. Фотоэффект был подвергнут систематическому экспериментальному исследованию выдающимся русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым в 1888 – 1890 гг. Оказалось, что явление фотоэффекта основано на выбивании электронов с поверхности металла под воздействием ультрафиолетового света. В результате опытов Столетовым было обнаружено 13 закономерностей. Наиболее главные, известные в настоящее время как законы фотоэффекта, следующие:

- кинетическая энергия фотоэлектронов изменяется только при изменении частоты света и не зависит от его интенсивности;
- максимальная энергия фотоэлектронов возрастает пропорционально частоте света.

Подобные результаты нельзя было объяснить на основе общепринятых в то время законов электродинамики Максвелла, согласно которым свет представляет собой электромагнитную волну, непрерывно распределённую в пространстве. Истолковать с другой точки зрения явление фотоэффекта удалось, как уже упоминалось, только в 1905 г. Альберту Эйнштейну, который развил идеи Макса Планка о прерывистом испускании света и вывел уравнение, раскрывающее закономерности фотоэффекта. Эйнштейн развивает и расширяет идеи Планка: свет не только излучается квантами, но и поглощается порциями (квантами), которые имеют определённую энергию и получили название фотоны  $h\nu = mv^2/2 + A_0$ .

Согласно ему электромагнитное излучение представляет собой поток отдельных квантов (фотонов) с энергией  $h\nu$  каждый, где  $h$  – постоянная Планка. При фотоэффекте часть падающего электромагнитного излучения от поверхности металла отражается, а часть проникает внутрь поверхностного слоя металла и там поглощается. Поглотив фотон, электрон получает от него энергию и, совершая работу выхода «А», покидает металл, обладая определённой кинетической энергией  $mv^2/2$ .

Эйнштейн осмелился провозгласить физическую реальность квантов. Он стал говорить о них как о частицах излучения, как о своеобразных «тельцах», локализованных в пространстве. В квантах электромагнитного излучения чётко прослеживаются свойства обыкновенных частиц. Так появилось представление о световых квантах, и было дано новое определение света как потока особых частиц – фотонов.

Налицо острейший физический кризис. Нельзя забывать, что явления интерференции, дифракции, дисперсии и поляризации света (электромагнитного излучения) определённо подтверждают наличие у света волновых свойств. Но излучение абсолютно чёрного тела и фотоэффект свидетельствуют о том, что свет – поток квантов (корпускулярные свойства). Это реальные экспериментальные исследования, достоверность которых подтверждена неоднократно.

Выход представлялся чрезвычайно парадоксальным, но, тем не менее, единственным – признать наличие у света двойственных свойств. Так постепенно в физику начинает входить *концепция корпускулярно-волнового дуализма*. Свет обладает своеобразной двойственностью свойств, двойственной природой. При его распространении проявляются волновые свойства, а при взаимодействии с веществом (излучение и поглощение) – корпускулярные.

Дальнейшее утверждение идеи квантования и её развитие связано с изучением строения атома.

Идея квантования, т. е. наложение физической идеи прерывистости на непрерывные волновые процессы, изначально казалась абсурдной и нелепой. Как может непрерывная волна существовать в виде порций? Тем не менее, только с таких позиций была решена ещё одна острейшая физическая проблема – строение атома. Напомним, что термин «атомос» означает неделимый (по терминологии Демокрита – «неразрезаемый»). Это мельчайшая порция вещества, меньше которой ничего нет. Однако развитие физики к концу XIX века нако-

пило свидетельства неправомерности такого представления. О существовании частиц меньше атома говорили исследования Фарадея по электролизу, открытие катодных лучей, радиоактивности Беккерелем и другие. Чрезвычайно остро эта проблема проявилась при обнаружении электрона. Первооткрыватель электрона Дж. Дж. Томсон вспоминал, как много времени спустя один выдающийся физик рассказал ему, что подумал, «будто я им всем нарочно морочу голову». И Томсон не был этим удивлён, ибо сам пришёл к такому выводу и объяснению своих экспериментов лишь убедившись, что от опытных данных никуда не скрыться. Только тогда он объявил о своей вере в существование тел меньше, чем атом. В 1891 г. данная частица названа электроном (Дж. Стоней).

Однако одновременно возникла другая проблема: если атом электрически нейтрален, то помимо электронов в нём должно находиться и положительное электричество, т. е. возник вопрос о структуре атома – как расположено положительное и отрицательное электричество внутри атома?

Проблема атомарного строения была решена Э. Резерфордом на основе эксперимента по бомбардировке золотой фольги альфа-частицами. Результаты опытов можно было объяснить только исходя из предположения о планетарной модели атома. В центре атома находится положительное ядро, вокруг которого, как вокруг солнца, наподобие планет солнечной системы вращаются электроны. Таким образом, подавляющая часть массы атома сконцентрирована в крошечном ядре. Радиус ядра  $10^{-13}$  см.

Признавая достоверность опытов Резерфорда, физика столкнулась с новой проблемой. Планетарная модель атома была изначально «обречённой» с точки зрения классической электродинамики. Электроны, движущиеся по орбите с ускорением, должны излучать электрические волны и через чрезвычайно короткое время неизбежно упасть на ядро, растратив всю энергию на излучение электромагнитных волн. Ситуация была настолько неординарной, что вопрос об устойчивости атома на данном этапе предлагалось не рассматривать и исходить только из факта устойчивости атомарного вещества.

Противоречия между теорией и результатами эксперимента в физике атома были разрешены датским физиком Нильсом Бором

(1885 – 1962 гг.). Для «спасения» атома Бор наложил на законы классической электродинамики принципиальные запреты, которые были сформулированы им в виде постулатов:

*1-й постулат.* Атомная система может находиться в особых *стационарных* состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия  $E_n$ . В стационарном состоянии атом не излучает.

*2-й постулат.* При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант электромагнитного излучения. Энергия фотона равна разности энергий атома в двух стационарных состояниях:  $h\nu = E_m - E_n$ , где  $h$  – постоянная Планка.

Бесконечно долго каждый атом может находиться лишь в стационарном состоянии с минимальным запасом энергии. Это состояние атома называется *основным*. Все остальные стационарные состояния атома называются *возбужденными*.

Второй постулат в явном виде утверждает идею квантования электромагнитного излучения. Вновь идея квантования вызвала широкие научные дискуссии. Отто Штерн поклялся, что «бросит физику, если эта нелепость окажется правдой». Другой известный физик этого периода, внёсший впоследствии громадный вклад в развитие волновой механики, Э. Шрёдингер, заявлял: «Если никак не обойтись без этих проклятых квантовых скачков, то я жалею о том, что связался с атомной теорией» (URL: [cyberleninka.ru/article/n/a –...копия](http://cyberleninka.ru/article/n/a...копия)). В рамках этого же парадокса Вильям Брэгг шутливо замечал: «Теория Бора предложила физикам пользоваться по понедельникам, средам и пятницам классическими законами, а по вторникам, четвергам и субботам – квантовыми» (URL: [chem21.info/info/939921/](http://chem21.info/info/939921/)). Несколько позже Н. Бор часто цитировал излюбленные остроты одного из своих ассистентов:

«– Теорию квантов можно сравнить с лекарством, излечивающим болезнь, но убивающим больного.

– Квантовая теория очень похожа на иные победы: месяца два вы смеетесь, а потом плачете долгие годы» (URL: [theorphys.fizteh.ru/tfboard/tfboard/m\\_9p3j.html](http://theorphys.fizteh.ru/tfboard/tfboard/m_9p3j.html)).

Таким образом, планетарная модель атома и постулаты Бора вновь выдвигают идею о двойственной природе электромагнитного

излучения, о справедливости концепции корпускулярно-волнового дуализма. В некоторых физических явлениях электромагнитное излучение проявляет волновые свойства, а в других – корпускулярные.

Но что лежит в основе такого механизма? Что это за таинственные и глубокие причины, лежащие в основе теории Бора? Главный вопрос, мучивший физиков, сводился к следующему: каким образом атом производит выбор фотона нужной энергии при переходе с одной стационарной орбиты на другую? Сам Резерфорд аналогично никак не мог понять, каким образом электрон, начиная прыжок с одной орбиты на другую, знает, какой квант ему нужно испускать?

«Мы начали приходить в состояние полного изнурения, и наши нервы были напряжены до предела» (А. Эйнштейн) ([URL: e-libra.ru>read/224136-veroyatnostnyj-mir.html](http://e-libra.ru/read/224136-veroyatnostnyj-mir.html)).

Ответ был предложен молодым учёным Луи де Бройлем. В своей диссертации в 1923 г. он предлагает способ определения разрешённых стационарных орбит, углубляя концепцию корпускулярно-волнового дуализма и вводя в физику идею о волновых свойствах электрона. Он писал, что решил посвятить все свои силы выяснению истинной природы введённых за 10 лет до этого в теоретическую физику М. Планком таинственных квантов, глубокий смысл которых ещё мало кто понимал. Им начинает утверждаться двойственная природа не только электромагнитного излучения, но и частиц вещества. Разумеется, идея была встречена неоднозначно, но ведущие физики обратили на неё внимание. Поль Ланжевен писал: «Идеи диссертанта, конечно, вздорны, но развиты с таким изяществом, что я принял диссертацию к защите» ([URL: bookol.ru>nauka\\_obrazovanie/fizika/59578/str21.htm](http://bookol.ru>nauka_obrazovanie/fizika/59578/str21.htm)). Эйнштейн в письме к другу о диссертации Бройля писал: «Прочтите её. Хотя и кажется, что её писал сумасшедший, написана она солидно» ([URL: biopeoples.ru>nobellaurs/page...846-lui...brojil.html](http://biopeoples.ru>nobellaurs/page...846-lui...brojil.html)).

Согласно теории Луи де Бройля разрешённые стационарные орбиты в атоме те, на которых по её длине умещается целое число электронных волн. Другими словами, учёным вводится идея наличия волновых свойств у любого вещественного объекта, в том числе у элементарных частиц.

В 1926 г. швейцарский физик Эрвин Шрёдингер развивает идеи Луи де Бройля, разрабатывая математический аппарат волновой механики. Основным уравнением нерелятивистской квантовой механики является временное уравнение Шрёдингера. Решение уравнения Шрёдингера позволяет найти волновую функцию  $\Psi(\vec{r}, t)$  (пси-функцию) частицы, которая описывает микросостояние частицы и её волновые свойства. Так как уравнение учитывает волновые свойства частиц, то оно является *волновым уравнением*, подобно уравнению, описывающему электромагнитные волны. Шрёдингер описывал атом как систему, которая состоит не из ядра и электронов, а из атомного ядра и материальных волн.

Уравнение Шрёдингера, как и все основные уравнения физики, такие, как уравнения Ньютона в классической механике и уравнения Максвелла для электромагнитного поля, не выводятся, а постулируются. Правильность этого уравнения подтверждается согласием с опытом получаемых с его помощью результатов, что, в свою очередь, придает ему характер закона природы. Оно играет в квантовой механике такую же важную роль, как уравнение второго закона Ньютона в классической механике или уравнения Максвелла для электромагнитных волн.

Идея о наличии волновых свойств у микрочастиц и описание их поведения волновым уравнением первоначально казалась фантастической, но вскоре был проведён целый ряд опытов, подтверждающий наличие волновых свойств у электрона. Опытами Дэвисона – Джермера в 1927 г. была обнаружена дифракция пучка электронов, присущая только волнам. В 1949 г. Фабрикант с помощью специального эксперимента показывает, что дифракция наблюдается и при пропускании слабого пучка электронов через дифракционное устройство, т. е. тогда, когда электроны практически пропускались поодиночке. Это означало, что дифракция – не эффект коллектива; волновыми свойствами обладает каждый отдельно взятый электрон.

Корпускулярно-волновой дуализм микрообъектов следует понимать как их потенциальную способность проявлять различные свои

свойства. Академик В. А. Фок подчёркивал, что у атомных объектов в одних условиях выступают на первый план волновые свойства, а в других – корпускулярные.

Это противоречило всем методологическим установкам классического естествознания, т. е. ранее считалось, что наука – предельно объективный (обезличенный) способ познания мира, что устройство мира можно познавать, находясь как бы вне его, вне абсолютной физической реальности. Так, например, Эйнштейн не включал в понятие «физическая реальность» акт наблюдения.

У Бора, активно работавшего в области квантовой физики, была принципиально иная позиция: он считал акт наблюдения важным элементом физической реальности. Развитие квантовой физики, в частности, утверждение корпускулярно-волнового дуализма, привело к осознанию проявления корпускулярных или волновых свойств наблюдаемого квантового объекта в зависимости именно от акта наблюдения с соответствующей экспериментальной аппаратурой. Гейзенберг также подчёркивает, что наблюдение играет решающую роль в квантовом событии и что проявляемая реальность различается в зависимости от того, наблюдаем мы её или нет.

Начинает осознаваться факт того, что сам измеряемый прибор влияет на результаты измерения и участвует в формировании изучаемого явления. Иначе, возникает субъект-объектное единство прибора и изучаемой реальности. При измерении получается информация о результате взаимодействия объекта и прибора. Способ описания (выбор эксперимента и условий наблюдения) задаётся исследователем. Каждое из описаний правильно, но применимо к различным условиям. Отсюда следует, что квантовая механика не допускает объективного (в классическом понимании) описания природы. Человек перешёл на тот уровень исследований, где его влияние оказывается неустранимым в ходе эксперимента.

Картина реальности в квантовой механике становится как бы двуплановой, двуаспектной. С одной стороны, в физическую реальность входят характеристики исследуемого объекта, а с другой – условия наблюдения (URL: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20647>).

*Таким образом, в квантово-полевой картине мира появляется принцип относительности к средствам наблюдения.*

Возникла проблема образа микрообъекта: как его представить, если он проявляет принципиально различные (и волновые, и корпускулярные) свойства. Появилось понятие «ве-поль» (вещество-поле), буквальная наглядная модель которого просто невозможна. Это специфический объект, не обладающий наглядным механическим образом. Уже позже один из величайших физиков XX столетия Л. Д. Ландау, писал: «Человек в процессе познания природы может оторваться от своего воображения, он может открыть и осознать даже то, что ему не под силу представить» ([URL: physiclib.ru>books/item/f00/s00/z0000052...](http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000052...)).

Следовательно, в микромире материя не обладает только корпускулярными или только волновыми свойствами. Природа микрообъектов двойственна – именно это составляет суть корпускулярно-волнового дуализма.

Таким образом, можно говорить о кардинальной смене представлений о природе материи в КПКМ. Материя обладает двойственной природой – она и континуальна и дискретна, проявляя свои свойства в зависимости от условий взаимодействия.

### **Вопросы для контроля**

Какие факты послужили причиной выдвижения представлений дискретности материи в КПКМ?

В чём заключается суть «ультрафиолетовой катастрофы»? Какой учёный нашёл пути выхода из неё, в чём суть его идей?

Какие новые представления о природе материи были предложены в связи с изучением явления фотоэффекта?

При изучении каких физических проблем была развита идея квантования?

Какие проблемы были выявлены при утверждении планетарной модели атома?

В чём суть постулатов Бора?

По каким причинам была выдвинута гипотеза де Бройля о электронных волнах?

Какими опытами были подтверждены волновые свойства электронов?

В чём суть концепции корпускулярно-волнового дуализма?

В чём заключается принцип относительности к средствам наблюдения?

## **§ 2. Вероятностные представления и понятие причинности в квантово-полевой картине мира**

... кажется, почва ускользает из-под ног  
и потеряна всякая опора.  
*А. Эйнштейн*

В истории развития физики было немало революций, принципиально изменявших научную парадигму и взгляды ученых на устройство мира (что и было показано в предыдущих главах). То, что произошло с естествознанием в первой четверти XX века, также было очередной сменой научной парадигмы. Если раньше всё в окружающем нас мире было прогнозируемо и предсказуемо, то с появлением квантовой механики он стал вероятностным.

Утвердившаяся в XX столетии концепция корпускулярно-волнового дуализма о двойственности природы материи стала в дальнейшем причиной и фактором появления кардинальных изменений в характере причинно-следственных связей в микромире.

Долгие и острейшие дискуссии продолжались по поводу природы волн де Бройля, которыми обладают микрообъекты, – это реальные волны или нечто другое? Решающее значение при этом имели работы М. Борна.

Шрёдингер, описавший поведение микрочастиц с помощью волновой пси-функции, призывал полностью отказаться от понятия частицы, сводя её к волновому пакету. Новая интерпретация волновой функции была сформулирована М. Борном в 1926 г., как только было опубликовано волновое уравнение Шрёдингера. В отличие от интерпретации Шрёдингера, интерпретация М. Борна продолжала рассматривать электрон в атоме как отрицательно заряженную элементарную частицу и сохраняла структуру атома. Но при этом законы движения электрона в атоме приобретают вероятностный характер, который как

раз и описывается волновой функцией. В рамках подобной интерпретации волновой функции терялся смысл понятия траектории движения электрона. Теперь можно было рассматривать лишь вероятность нахождения электрона в определённом элементе пространства вокруг ядра атома. М. Борн писал: «Он (Шрёдингер) рассматривал электрон не как частицу, но как некоторое распределение плотности, которое давалось квадратом его волновой функции  $|\psi|^2$ . Он считал, что следует полностью отказаться от идеи частиц и квантовых скачков, и никогда не сомневался в правильности этого убеждения. Я, напротив, имел возможность каждодневно убеждаться в плодотворности концепции частиц, наблюдая за блестящими опытами Франка по атомным и молекулярным столкновениям, и был убеждён, что частицы не могут быть упразднены. Следовало найти путь к объединению частиц и волн. *Я видел связующее звено в идее вероятности...*» (М. Борн. Воспоминания. М. : Изд-во УФН, 1970. С. 160 – 161).

Точку зрения М. Борна разделяли А. Зоммердфельд, Н. Бор, В. Гейзенберг, В. Паули. Однако сам автор волнового уравнения продолжал настаивать на волновой природе электрона и рассматривал электрон в атоме как отрицательно заряженное облако. Завязалась острая многолетняя (четверть века) дискуссия – что же представляют собой шрёдингеровские волны? Что именно колеблется в пространстве, окружающем ядро атома водорода? Чем является электрон в атоме – волновым пакетом или элементарной частицей? Лишь только в 1950 г. Шрёдингер присоединился к вероятностной трактовке сущности волн.

В 1954 г. М. Борн удостоен Нобелевской премии по физике с формулировкой «За фундаментальное исследование в области квантовой механики, особенно за статистическую интерпретацию волновой функции».

Итак, физическая значимость введения пси-функции ( $\Psi$ ) заключается, по интерпретации Борна, во введении вероятностных представлений в содержание концепции детерминизма в области квантовой физики. *Впервые физика столкнулась с уравнением, описывающим движение одной единственной частицы через вероятность события.*

Эта идея была просто шокирующая, фантастическая и шла в разрез со всеми классическими физическими представлениями. Макс-

велл и Больцман, вводя вероятностные представления в молекулярную теорию, описывали с их помощью коллективы однородных частиц. При этом классическая вероятность связывалась с неполнотой знаний. Случайность трактовалась как незнание истинных причин. Поведение одной частицы всегда предполагалось точно прогнозируемым с помощью динамических законов (Ньютона). Статистические законы не признавались фундаментальными.

Здесь же, по интерпретации М. Борна, вероятностные законы описывают поведение одной отдельной микрочастицы, т. е. электрон внутри атома можно в принципе заставить и зафиксировать как целостный объект и там, где у пси-волны гребень, и там, где у неё скат. А сам прогноз «больше» или «меньше» относится не к плоти, не к телу электрона, а к его поведению. Где у пси-волны амплитуда выше, там шансов зафиксировать электрон больше, а где меньше, там шансов найти электрон меньше, т. е. пси-функция описывает волны вероятности событий. Атом предстал в совершенно новом образе. Это не планетарная модель. Атом представляет собой ядро, вокруг которого существуют стоячие волны де Бройля. Природа облаков сводится к волнам вероятности. Чаще всего электрон находится в тех местах атома, где облако де Бройля имеет наибольшую амплитуду.

Фактически уравнение Шрёдингера – это математическое выражение принципа статистического детерминизма в квантовой механике. Принципиальная особенность этой причинной связи заключается в том, что данное состояние системы определяет её последующее состояние не однозначно (как в классической механике), а лишь с определённой вероятностью, задаваемой при помощи волновой функции. Это означает, что в  $\Psi(\vec{r}, t)$  заключена информация о распределениях вероятностей для всех физических величин (координат, проекций импульса, момента импульса и т. д.), относящихся к частице, для любого момента времени. Квадрат модуля пси-функции есть вероятность (плотность вероятности) обнаружить микробъект в некотором состоянии, отвечающем одному полному набору всех характеристик. Новую функцию  $\Psi(\vec{r}, t)$  называют также амплитудой вероятности, поскольку она позволяет определить плотность вероятности нахождения частицы в любой точке пространства в любой момент времени.

Таким образом, представления о причинно-следственных связях в КПКМ подверглись принципиальным и существенным изменениям, заменив жёстко однозначные представления предыдущих физических картин мира (механической и электромагнитной) на вероятностные.

Следовательно, движению частиц в микромире оказалась присуща некоторая вероятность поведения, неопределённость, что первоначально послужило выдвигению предположений о катастрофе индетерминизма, нарушению и невыполнимости принципа причинности в микромире.

Дальнейшее утверждение вероятностных представлений связано с принципом неопределённости, открытым Вернером Гейзенбергом в 1927 г., являющимся одним из краеугольных камней квантовой механики.

В. Гейзенберг подчёркивал: «Мы не можем интерпретировать процессы в атомарной области так же, как процессы большого масштаба. Если же мы продолжаем пользоваться привычными понятиями, то их применимость надо ограничивать соотношениями неопределённостей» ([URL: physicedu.ru/phy-1491.html](http://physicedu.ru/phy-1491.html)).

Одно из следствий такого понимания – изъятие из квантовой физики понятия траектории. В классической механике всякая частица движется по определенной траектории и всегда имеет вполне определенные (точные) значения координаты, импульса, энергии. По-другому обстоит дело с микрочастицей, обладающей волновыми свойствами, а волна не имеет локализации, и, значит, частица не имеет траектории. Отсюда логически следует, что микрочастица не может иметь одновременно определенных (точных) значений координаты и импульса. Другими словами, мы можем говорить о значениях координаты и импульса микрочастицы только с некоторой степенью приближения. Мэру этой неопределенности (неточности) в значениях координаты и импульса, энергии и времени нашёл в 1927 г. В. Гейзенберг. Он показал, что эти неопределенности (неточности) удовлетворяют следующим соотношениям:

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq h / 2\pi,$$

где  $\Delta p_x = m \Delta v_x$  – неопределенность (ошибка в определении) импульса микрообъекта по координате  $x$ ;  $\Delta x$  – неопределенность (ошибка в

определении) положения микрообъекта по этой координате. Таким образом, чем точнее определена скорость, тем меньше известно о местоположении частицы и наоборот.

Итак, корпускулярно-волновая двойственность свойств частиц, изучаемых в квантовой механике, приводит к тому, что *оказывается невозможным* одновременно *точно характеризовать частицу её положением в пространстве (координатами) и скоростью* (или импульсом). Так, например, электрон (и любая другая микрочастица) не может иметь одновременно точных значений координаты « $x$ » и импульса ( $p = mv$ ).

Таким образом, для микрочастицы не существует состояний, в которых ее координаты и импульс имели бы одновременно точные значения. Отсюда вытекает и фактическая невозможность одновременного измерения координаты и импульса микрообъекта с любой наперед заданной точностью. Чем точнее определён импульс, тем менее точно известно его положение и наоборот. Другими словами, получение экспериментальной информации об одних физических величинах, характеризующих микрообъект, неизбежно связано с потерей, возрастанием неопределённости о значениях других физических величин, дополнительных к первым.

Важно заметить, что эта неопределенность не связана с несовершенством наших приборов, эти ограничения никак не связаны с точностью измерений, достижимой в конкретном эксперименте, а имеют принципиальное значение. Речь о том, что *принципиально нельзя* определить одновременно координату и импульс частицы точнее, чем это допускает соотношение неопределенностей. Этого нельзя сделать точно так же, как нельзя превысить скорость света, достичь абсолютного нуля температур.

Поэтому, как уже указывалось, для микрочастицы становится неприемлемым понятие о траектории движения, поскольку оно связано с конкретными координатами и импульсом частицы. Можно лишь говорить о вероятности обнаружить ее в какой-то области пространства. Тем самым произошла замена понятия «орбита движения» электрона, введенного Бором, понятием *орбитали*.

В волновой модели орбиталь – это пространство около ядра, в котором можно обнаружить «заселивший» ее электрон с вероятностью 95 %. За пределами этого пространства вероятность встретить такой электрон меньше 5 %. Полученные с помощью математического расчета такие области вероятности нахождения в электронном облаке  $s$ - и  $p$ -электронов показаны на рис. 11 (URL: [hemi.nsu.ru/text125.htm](http://hemi.nsu.ru/text125.htm)...копия).

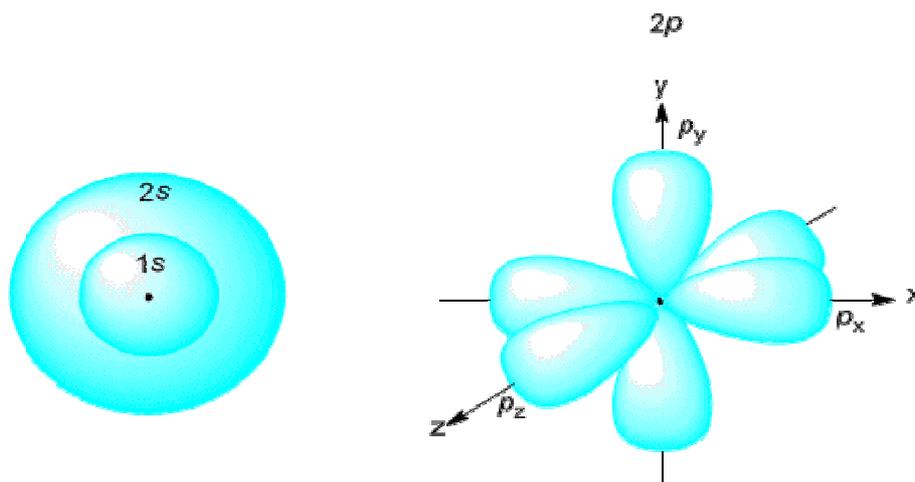


Рис. 11

Итак, электрон обладает свойствами и частицы, и волны. Квантовая механика, учитывая эту двойственность природы электрона, отказывается от строгого уточнения положения его в пространстве и учит, что стационарные (дозволенные) орбиты электрона в атоме водорода – это лишь места наибольшей вероятности его пребывания.

Значительно позже, в 50-х гг. XX столетия, Н. Бор после лекции по квантовой механике вспоминал впечатления и высказывание выходявшего из аудитории одного из студентов: «Неужели действительно были такие идиоты, которые думали, что электрон вращается по орбите?» (URL: [physicedu.ru/phy-1495.html](http://physicedu.ru/phy-1495.html)). И тем не менее бестраекторный мир квантовой механики входил в научный мир с большими дискуссиями и спорами.

*Энергия и время являются канонически сопряженными.* Поэтому для них также справедливо соотношение неопределенностей. Факти-

чески соотношение неопределённостей считается квантовым ограничением применимости классической механики к микрообъектам.

Заметим, что для макроскопических тел их волновые свойства не играют никакой роли; координаты и скорости могут быть измерены достаточно точно. Это означает, что для описания движения макротел с абсолютной достоверностью можно пользоваться законами классической механики.

В настоящее время принцип неопределённостей можно назвать руководящим принципом квантовой физики. На его основе объясняются многие ранее непонятные явления, например, туннельный эффект, объяснение устойчивости атома и многое другое.

Соотношение неопределённостей – частный случай и конкретное выражение общего принципа *дополнительности*, сформулированного Н. Бором в 1927 г. Именно этот принцип позволяет примирить, казалось бы, непримиримое, ведь электрон проявляет себя в различных экспериментах то как частица, то как волна. Квантовая механика осуществляет синтез этих понятий и даёт возможность предсказать исход любого опыта, в котором проявляются как корпускулярные, так и волновые свойства частиц.

Принцип дополнительности Бор применял во многих областях. Так, например, физическая картина явления и его математическое описание дополнительны. Создание физической картины требует пренебрежения деталями и уводит от математической точности, а попытка точного математического описания явления затрудняет его ясное понимание.

Резюмируя подчеркнём, что квантовая механика не даёт однозначного ответа на некоторые вопросы, а лишь предсказывает вероятность того или иного результата. Классическая физика не знала неопределённости. Если задать координаты и скорости механической системы, то можно однозначно предсказать все её поведение (жёсткий лапласовский детерминизм). В квантовой механике, как следует из соотношения неопределённостей, задать одинаково точно координаты и скорости всех частиц невозможно; есть возможность лишь задать в начальный момент волновую функцию системы. Квантовая ме-

ханика позволяет найти её в любой следующий момент, но с определённой долей вероятности. Как характеризовал данную особенность Паули, это означает, что в квантовой механике речь идёт лишь о возможных, а не о действительно происходящих событиях. Это звучит приблизительно следующим образом: «это невозможно» или «возможно либо то, либо другое», но никогда не утверждается: «это действительно произойдёт тогда-то и там-то».

Невозможность однозначно предсказать исход опыта была настолько непривычной, что вызвала множество возражений. Достаточно ли полно квантовомеханическое описание или нужно создать более точную теорию?

Именно эту интерпретацию Эйнштейн подвергал сомнению, когда писал Максу Борну: «Бог не играет в кости». Нильс Бор ответил: «Эйнштейн, не говорите Богу, что делать».

В пределах широко, но не универсально принятой копенгагенской интерпретации квантовой механики, одним из авторов которой был Н. Бор, согласно принципу неопределённости физическая Вселенная существует как набор вероятностей или возможностей. Например, картина (распределение вероятности), произведённая миллионами фотонов, дифрагирующими через щель, может быть вычислена при помощи квантовой механики, но точный путь каждого фотона не может быть предсказан никаким известным методом. Копенгагенская интерпретация считает, что это не может быть предсказано вообще *никаким* методом.

И всё же Эйнштейн был убеждён, что вероятностная интерпретация была ошибочной, он предполагал, что существуют скрытые переменные в квантовой механике, которые лежат в основе наблюдаемых вероятностей. Ни Эйнштейн, ни кто-либо ещё с тех пор не смог построить удовлетворительную теорию скрытых переменных, однако говорить об однозначном понимании всеми физиками данного вопроса не приходится и в настоящее время.

Необычная природа принципа неопределённости Гейзенберга и его запоминающееся название сделали его источником ряда шуток. Утверждают, что популярной надписью на стенах физического факуль-

тета университетских городков была «Здесь, возможно, был Гейзенберг» ([URL: ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) Принцип неопределённости). В другой шутке о принципе неопределённости рассказано, как специалиста по квантовой физике остановил на шоссе полицейский и спросил: «Вы знаете, как быстро вы ехали, сэр?» На что физик ответил: «Нет, но я точно знаю, где я!» (Там же).

С. И. Вавилов подчёркивал уникальность данной ситуации, говоря, что «логика с её необъятной широтой, воплощённая в математические формулы, остаётся в силе, устанавливая порядок связи в новом, непонятном мире и открывая возможность физических предсказаний» ([URL: cheloveknauka.com](http://cheloveknauka.com)...i-intuitivno-evristicheskie...v...).

Существенной особенностью данного прогноза можно назвать его вероятностный характер. Более того, интерференцию и дифракцию микрообъектов следует объяснять не на основе волновых представлений, а используя вероятностные представления. Интерференция микрообъектов – это интерференция амплитуд вероятностей. Категория амплитуды вероятности принципиально иное вероятностное квантовое понятие. Амплитуда вероятности позволяет обнаружить микрообъекты в различных местах пространства и времени. Это невозможно представить в наглядных образах, но можно описать с помощью полевых уравнений.

Таким образом, жёсткая однозначная причинность, господствовавшая в механической и электромагнитной картинах мира, в квантово-полевой физической картине была существенно изменена. В физическую науку вошли вероятностные причинно-следственные связи, или вероятностная форма причинности.

### **Вопросы для контроля**

Каковы идеи М. Борна о поведении электрона в атоме?

Каково содержание принципа неопределённостей Гейзенберга?

Почему мир квантовой механики – бестраекторный мир?

Двигаются ли микрочастицы внутри атома?

Какие принципиальные изменения произошли с представлениями о причинности в КПКМ?

### § 3. Становление общей теории относительности и изменение представлений о пространстве, времени и взаимодействии

Как старший товарищ я должен Вас отговорить от этой деятельности, поскольку, во-первых, Вы не преуспеете в этой деятельности и даже если Вы преуспеете, то Вам всё равно никто не поверит.

*Из письма М. Планка А. Эйнштейну по поводу его попытки разрешить противоречия между теорией относительности и Ньютоновой гравитацией*

В 1916 г. появилась новая теория А. Эйнштейна – общая теория относительности (ОТО), которая уникальна тем, что разрабатывалась только одним учёным (9 лет работы). Теория названа общей, так как является обобщением, расширением специальной теории. Она включает в себя специальную теорию как частный случай. В ней изложены новые идеи учёного о пространстве и времени, развивающие и углубляющие представления специальной теории относительности. Однако многие очень часто называют её новой теорией гравитации в связи с уникальными идеями, которые она предложила, объясняя гравитационное взаимодействие.

Общая теория – значительно более крупное научное достижение, чем специальная теория. Она была, по выражению Теллера, «прекрасной неожиданностью, работой изумительной оригинальности, такой необычности, что вызвала в научном мире нечто похожее на шок» ([URL: lib100.com>science/theory\\_relativity/html/?page=33](http://lib100.com/science/theory_relativity/html/?page=33)).

*Первый постулат* общей теории относительности – расширенный принцип относительности, который утверждает инвариантность (неизменность) законов природы в любых системах отсчета как инерциальных, так и неинерциальных.

*Второй постулат* – принцип постоянства скорости света – остается неизменным, но вводится ограничение применимости этого принципа к областям, где гравитационными силами можно пренебречь, и к областям очень мощной гравитации.

*Третий постулат* – принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс.

Первый постулат общей теории относительности более категоричен, чем такой же постулат СТО. Это фактически ответ на вопрос, почему принцип относительности должен быть применён только к инерциальным системам. Не следует ли отказаться от особой роли ИСО?

Одной из причин создания общей теории относительности было намерение Эйнштейна избавить физику от необходимости считать инерциальные системы в качестве основополагающих систем отсчета. Первый принцип утверждает, что законы физики должны иметь один и тот же вид не только в инерциальных системах, но и в неинерциальных системах отсчета, т. е. инерциальные системы отсчета не должны рассматриваться как привилегированные системы, как это было в классической механике. Фактически Эйнштейн стал утверждать, что все законы природы инвариантны (одинаковы) для любого наблюдателя: покоящегося, движущегося равномерно прямолинейно или ускоренно. Это означает, что независимо от характера движения наблюдателя, каким бы оно не было сложным, можно описать все законы природы одинаковыми математическими уравнениями. Этот наблюдатель может быть ученым, работающим в земной лаборатории, или на Луне, или в огромном космическом корабле, медленно ускоряющемся на пути к далекой звезде и т. п.

Отсюда вытекает, что ни один физический эксперимент, какого бы вида он не был, не позволит наблюдателю, в каком бы движении он не находился (равномерном или ускоренном), отличить свое состояние от состояния покоя.

Пойти на расширение принципа относительности Эйнштейну позволил ещё один революционный научный шаг, а именно: переосмысление понятия сил инерции. В неинерциальных системах вводятся силы особого рода – так называемые силы инерции. Особенностями сил инерции считается то, что *силы инерции вызываются не взаимодействием тел (как в классической механике), а ускоренным движением системы отсчета*. Очень кратко формулируем, что эта сила равна по величине силе, вызывающей ускорение, но направлена в сторону, противоположную ускорению. Её проявление испытывает каждый человек, находящийся в ускоренно или замедленно движущемся транспорте. Именно поэтому в ускоряющемся транспорте сила инерции тянет пассажиров назад, а в тормозящем транспорте, наоборот, вперед (обратим внимание, это лишь один из видов сил инерции).

Центробежная сила – тоже сила инерции – направлена против центростремительной силы, вызывающей круговое движение. Именно эта сила сбрасывает предметы с вращающейся с большой скоростью платформы.

Итак, сила инерции – это сила, используемая для описания движения при переходе в неинерциальные системы отсчета (т. е. при движении с ускорением). Заметим, что в настоящее время продолжается дискуссия о сущности сил инерции, ведущая свои истоки со времён Ньютона.

Иными словами, принцип относительности общей теории относительности расширил и обобщил принцип относительности СТО на неинерциальные системы отсчёта, тем самым отказывая инерциальным системам в особой роли, убирая их привилегированное положение в физике. После ОТО в физике утвердилось равноправие инерциальных и неинерциальных систем отсчёта. Все физические законы выполняются одинаково во всех системах отсчёта.

Однако «ценой вопроса», как уже указывалось, была иная интерпретация сущности сил инерции, введённая Эйнштейном. Она связана с наиболее фантастической идеей ученого, касающейся теории гравитации. Новые взгляды вытекали из осмысления согласованности массы гравитационной и массы инертной. Этот факт был известен ещё в классической механике. Так, в законе всемирного тяготения Ньютона сила тяготения всегда пропорциональна массе того тела, на которое она действует ( $F = Gm_1m_2 / r^2$ ). Здесь речь идёт о гравитационной массе, которая характеризует способность тела притягиваться к другому телу. Но во втором законе Ньютона, сила, сообщающая телу ускорение, тоже пропорциональна его массе ( $F = ma$ ). В этом случае речь идёт об инертной массе, которая характеризует поведение тела под действием внешних сил и которая служит количественной характеристикой инертности тела. Принцип эквивалентности требует, чтобы  $m_{гр} = m_{ин}$ . Вообще говоря, эти две массы измеряются в различных экспериментах, поэтому совершенно не обязаны быть пропорциональными друг другу. Только их строгая пропорциональность позволяет говорить о единой массе тела как в негравитационных, так и в гравитационных взаимодействиях.

Сам принцип был выдвинут ещё Исааком Ньютоном, а равенство масс было проверено им экспериментально с относительной точностью  $10^{-3}$ . В конце XIX века более тонкие эксперименты провёл

Этвёш, доведя точность проверки принципа до  $10^{-9}$ . В течение XX века экспериментальная техника позволила подтвердить равенство масс с относительной точностью  $10^{-12} - 10^{-13}$  (Брагинский, Дикке и др.). Сегодня эти выводы подтверждены с высокой степенью точности. Различий между гравитационной и инертной массами не обнаружено. Для элементарных частиц равенство гравитационной и инертной масс экспериментально подтверждено только для нейтрона.

Анализируя неинерциальные системы отсчета, движущиеся с ускорением, Эйнштейн пришел к неожиданному результату, что в этих системах возникает явление, сходное с явлением тяготения. Учитывая это сходство, А. Эйнштейн пришёл к выводу, что силу тяжести можно создать или уничтожить переходом в систему отсчета, движущуюся с ускорением. Для иллюстрации этого принципа Эйнштейн предложил мысленный эксперимент, получивший образное название «лифт Эйнштейна» (рис. 12).

Ниже приводится более упрощённый вариант мысленного эксперимента. Наблюдатель, находящийся внутри лифта и проводящий опыты, не сможет определить, находится ли он в покое и подвержен действию силы тяжести (рис. 12, а) или лифт стал подниматься вверх с ускорением, равным ускорению свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  (рис. 12, б). *Внутренний наблюдатель* в лифте вынимает часы из своего кармана и выпускает их из рук. В результате часы упадут на пол кабины лифта. Вывод наблюдателя сводится к тому, что часы падают потому, что лифт в целом находится в поле тяготения Земли, т. е. наблюдаемое движение точно такого же рода, как и на Земле.

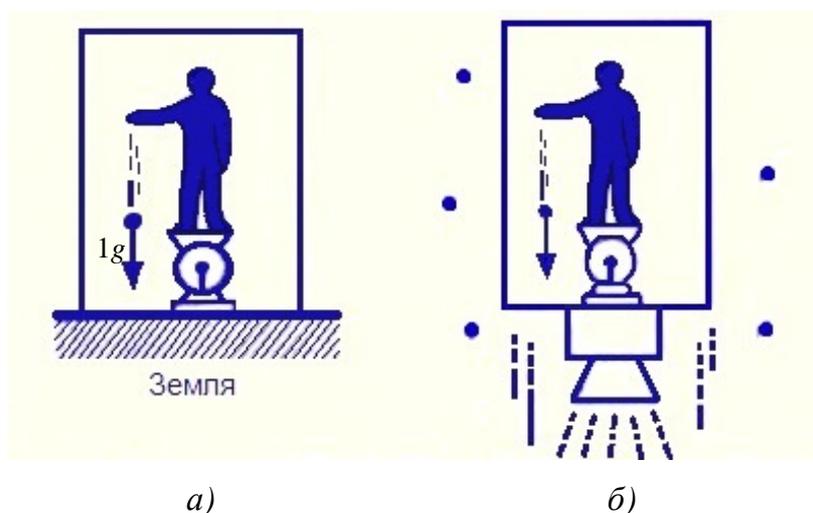


Рис. 12

Объясняется опыт действием поля тяготения (действием на тело силы тяжести). Результат действия – встреча часов с полом лифта. Теперь изменим ситуацию. Представим, что лифт находится в области, где отсутствует поле тяготения, но двигается с постоянным ускорением вверх  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Для внешнего наблюдателя выпущенные внутренним наблюдателем часы (они не падают, тяготения нет, они зависли), так же как и для внутреннего наблюдателя, в первом случае столкнутся с полом лифта, так как пол лифта (вместе с внутренним наблюдателем, находящимся на полу лифта) движется вверх по направлению к телу. Результат такой же, как и в первом случае, но в силу совершенно другой причины – ускоренного движения вверх.

Эти два описания – одно данное внешним, а другое – внутренним наблюдателем – вполне последовательны, и нет возможности решить, какое из них правильно. Мы можем принять любое для описания явлений в лифте: либо вместе с внешним наблюдателем принять неравномерность движения и отсутствие поля тяготения, либо вместе с внутренним наблюдателем принять наличие поля тяготения ([URL: philsci.univ.kiev.ua/biblio/...копия](http://URL:philsci.univ.kiev.ua/biblio/...копия)).

Таким образом, Эйнштейн содержанием принципа эквивалентности утверждает, что «физически невозможно отличить действие однородного гравитационного поля и поля, порождённого равноускоренным движением» (Найдыш В. М. Концепции современного естествознания. М., 2000. С. 262).

Иначе говоря, кинематические эффекты, возникающие под действием гравитационных сил, эквивалентны эффектам, возникающим под действием ускоренного движения. Так, если ракета взлетает с ускорением  $2g$ , то экипаж будет чувствовать себя так, будто он находится в удвоенном поле тяжести Земли. Аналогично наблюдатель, находящийся в закрытом лифте, не сможет определить, движется ли лифт ускоренно или внутри лифта действуют силы тяготения.

Аналогичных примеров можно привести достаточно много, например, таких, которые рассмотрены на рис. 12 и 13.

1. Лифт стоит на поверхности Земли. Учёный в лифте выпускает из рук груз и видит, что он с ускорением падает на пол. 2. Учёный снова выпускает из рук груз, но, поскольку теперь и лифт, и груз находятся в состоянии свободного падения (движутся одинаково),

груз «зависает» где-то между потолком и полом лифта. Следующие два опыта выполняются в космическом пространстве далеко от Земли, где всеми гравитационными полями можно пренебречь. 3. Лифт ускоряется вверх в вертикальном направлении с помощью ракетного двигателя. Если ускорение лифта равно  $9,8 \text{ м/с}^2$ , то, когда учёный выпускает груз, он обнаруживает, что груз падает с таким же ускорением, как и в первом опыте. 4. Лифт по-прежнему находится далеко от Земли, но без ускорения. Поскольку заметные гравитационные силы отсутствуют, когда груз выпускается из рук, он зависает, как и во 2-м опыте.

Видно, что результаты опытов одинаковы в случаях 1) когда лифт неподвижен относительно Земли и когда он находится в космосе, двигаясь при этом ускоренно и 2) когда лифт свободно падает в гравитационном поле или неподвижен в далёком космосе.

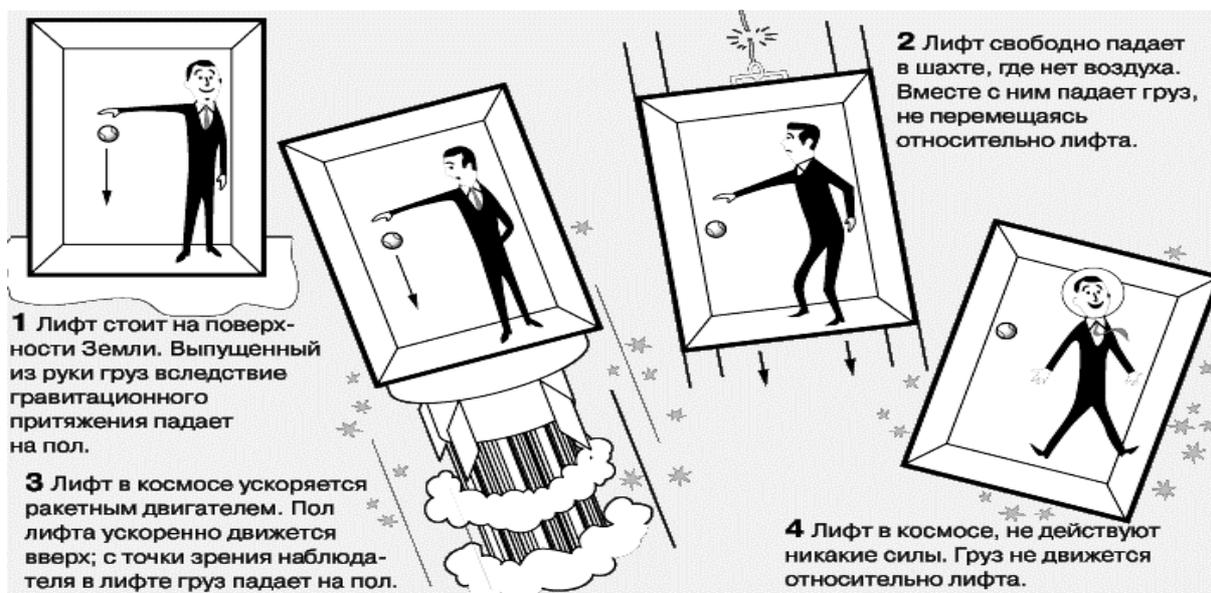


Рис. 13

Приведённые мысленные эксперименты показывают, что действие гравитационного поля точно такое же, как и сил инерции, обусловленных ускоренным движением лифта. Это и есть непосредственное выражение принципа эквивалентности (URL: <http://dic.academic.ru/>).

По словам А. Эйнштейна, «эвристическая ценность этого предположения состоит в том, что оно позволяет заменить однородное по-

ле тяжести равномерно ускоренной системой отсчёта, которая до известной степени поддается теоретическому рассмотрению» (URL: [booksshare.net>index.php...](http://booksshare.net/index.php...)). И даже больше: «Возможность объяснить численное равенство инерции и гравитации единством их природы даёт ОТО, по моему убеждению, такие преимущества перед концепциями классической механики, что по сравнению с этим все трудности, встречающиеся здесь, следует считать небольшими» (URL: [rulit.me>books...kosmologiya-filosofskie-gorizonty...](http://rulit.me/books...kosmologiya-filosofskie-gorizonty...)).

Данный эффект выполняется и для светового луча. Представим себе, что световой луч входит в лифт горизонтально через боковое окно и спустя очень короткое время достигает противоположной стены. Посмотрим, каковы будут предсказания обоих наблюдателей относительно пути луча. *Внешний наблюдатель*, который считает, что лифт находится в ускоренном движении, утверждал бы, что световой луч входит в окно и движется горизонтально вдоль прямой с постоянной скоростью по направлению к противоположной стене. Но лифт движется вверх, и за время, в течение которого свет доходит к стене, лифт изменит свое положение. Поэтому свет упадет в точку, расположенную не точно напротив точки его входа, а немного ниже (рис. 14). Смещение будет очень небольшим, но, тем не менее, оно существует, и световой луч проходит относительно лифта не вдоль прямой, а вдоль слабо искривленной линии. Это вызвано тем, что за то время, когда луч пересекает внутренность лифта, сам лифт смещается на некоторое расстояние.

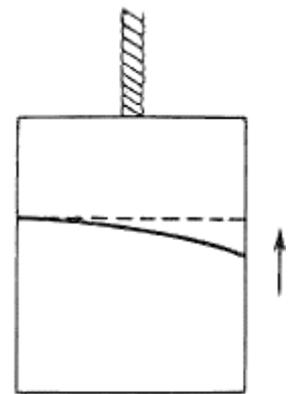


Рис. 14

*Внутренний наблюдатель*, считающий, что на все объекты в лифте действует поле тяготения, с позиций знаний о том, что луч света несет энергию, а энергия имеет массу, пришёл бы к аналогичному выводу: на всякую инертную массу поле тяготения оказывает воздействие. Луч света будет искривляться в поле тяготения точно так же, как искривляется траектория тела, брошенного горизонтально.

В любом случае наблюдатель в лифте увидел бы, что световой луч искривился. Для Эйнштейна это означало, что в реальном мире лучи света искривляются, когда проходят на достаточно малом расстоянии от массивного тела.

В дальнейшем принцип эквивалентности был принят с некоторыми оговорками, которых мы здесь касаться не будем.

Утверждение принципа эквивалентности означает, что не существует эксперимента, с помощью которого можно было бы отличить действие гравитационного поля от действия ускоренного движения по отношению к «неподвижным» звездам. И это привело к новым принципиально важным заключениям о сущности пространства, времени, тяготения.

При объяснении гравитации А. Эйнштейн отказался от концепции гравитационного поля. По его мнению, гравитационное поле не силовое. Он выдвинул концепцию, согласно которой гравитация – свойство пространства. В общей теории относительности существование гравитации связывается с искривлением пространства-времени.

Рассуждения достаточно простые. Действительно, как можно считать гравитацию полем, если её можно устранить простым выбором системы координат? Гравитация не является силой, а представляет собой свойство пространства, которое вызвано наличием в нём различных удалённых тел. Согласно взглядам Эйнштейна массивное тело не создает вокруг себя никакого гравитационного поля, оно просто искривляет пространство вокруг себя. То есть, по его мнению, с теоретической точки зрения есть основания утверждать, что сила тяжести эквивалентна искривлению пространства и искривление пространства

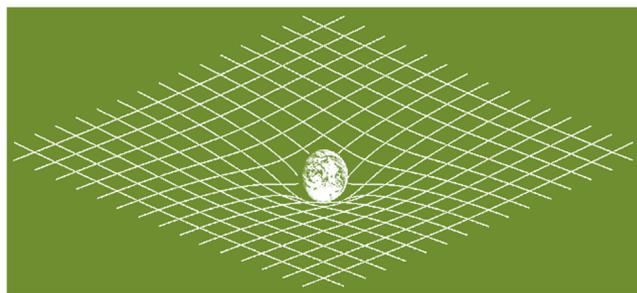


Рис. 15

эквивалентно действию силы тяготения (рис. 15).

Гравитационное поле в релятивистском случае есть физическое поле, описываемое посредством искривлённого пространства-времени. Можно сказать, что наличие во Вселенной вещества искажает геометрию и вещество заявляет о своем присутствии посредством гравитации.

Известно также, что Эйнштейн до самой смерти пытался обосновать идею, что не только гравитацию, но и всю физическую Вселенную можно целиком описать на основе одной лишь геометрии. Это идёт ещё от понимания природы древними греками, в частности, Платон говорил: «Бог – это геометр», «Бог всё геометризует».

Итак, согласно новой концепции Эйнштейна Солнце не притягивает планеты. Земля не притягивает вниз падающее яблоко. Просто большое материальное тело, такое как Солнце, Земля, любая планета и т. п., приводит к искривлению пространства-времени в окружающей его области.

Авторы, пишущие о теории относительности, часто в качестве наглядного образа, подтверждающего данную идею, приводят следующую модель. Представим себе плоский кусок резины, натянутый на прямоугольную рамку. Апельсин, положенный на этот кусок, создаёт впадину. Мраморный шарик, помещенный вблизи апельсина, будет скатываться к нему. Апельсин не «притягивает» шарик. Он создает впадину, и шарик скатывается к нему вдоль поверхности данной впадины.

Другой пример. Представьте себе туго натянутое на большую раму полотно. В одном месте на него положим увесистую гирию или шар. Полотно под тяжестью гири продавливается. Теперь берём маленький шарик и кладём его на край полотна. Попад на искривленную поверхность полотна, шарик скатывается к центру полотна, как будто гирия его «притянула». В конце концов шарик упадёт на гирию, но только вследствие искривлённой поверхности, а не притяжения.

Именно таким образом Земля создает вокруг себя искривленное пространство-время, вызывая эффект поля тяготения (см. рис. 15), что и заставляет все тела падать на Землю. С данных позиций камень не притягивается Землёй. Он по инерции движется вдоль четырехмерной геодезической линии, а вблизи Земли эта линия изогнута так, что втыкается в мировую линию поверхности планеты. То есть камень, летя с башни по инерции, падает на Землю. А так как тела любой массы в данном месте околоземного пространства двигаются вдоль одной и той же геодезической линии (кривизна геодезической линии одна и та же), то все они падают с одним и тем же ускорением  $9,8 \text{ м/с}^2$ . И камень, и песчинка, летя по инерции, не отстают друг от друга, так как двигаются вдоль одной геодезической линии.

Однако как следует из эпиграфа, выдвинутые Эйнштейном идеи настолько противоречили классическому описанию природы, что не могли быть восприняты абсолютным большинством учёных того периода. Практически всё XX столетие после опубликования ОТО и даже в

XXI веке продолжают эксперименты по подтверждению или опровержению постулатов и следствий общей теории относительности.

«*Эйнштейн выжил!*» – таков вывод научного руководителя миссии «Gravity Probe B» профессора Френсиса Эверитта (Francis Everitt) из Стэнфорда (Stanford University). Стали известны окончательные итоги многолетнего проекта по практической проверке общей теории относительности. Ещё в 2004 г. для измерения тонких эффектов влияния Земли на окружающее пространство-время американцы запустили спутник «Gravity Probe B», который завершил свою работу в 2005 г. В конструкции спутника было учтено множество требований по снижению любых побочных воздействий, способных внести искажения в результаты измерений. В 2007 г. американцы официально обнародовали первые результаты обработки собранных данных.

После исследования всего массива данных ученые вынесли окончательный вердикт: Земля действительно искривляет пространство вокруг себя в полном соответствии с уравнениями теории относительности. При высоте полёта спутника в 642 км длина окружности его орбиты превышает 40 тыс. км. Полёт аппарата показал, что точное значение этой длины примерно на три сантиметра меньше, чем следует из Евклидовой геометрии. Так происходит из-за того, что масса Земли словно прогибает пространство, создавая «ямку» и нарушая плоскую геометрию космоса (URL: [membrana.ru/particle/16109](http://membrana.ru/particle/16109)).

Возвращаясь к работам и идеям А. Эйнштейна в период разработки ОТО, необходимо обратить внимание на следующее. В результате были принципиально изменены представления о движении планет. Планета, движущаяся вокруг Солнца, движется по эллипсу не потому, что Солнце притягивает её, а благодаря кривизне околоземного пространства. В данном случае именно эллипс является геодезической линией. Принцип движения по геодезическим линиям объясняется следующим образом. Если гравитационная масса точно равна инерционной, то в выражении для ускорения тела, на которое действуют лишь гравитационные силы, обе массы сокращаются. Поэтому ускорение тела и его траектория не зависят от массы и внутреннего строения тела, следовательно, ускорение одинаково, поскольку кривизна для всех движущихся в этом месте тел одинакова. То есть ускорение можно связать не со свойствами тел, а со свойствами самого

пространства в этой точке. Траектории тел тогда будут геодезическими линиями, теория которых была разработана математиками ещё в XIX веке. В этом искривлённом пространстве эллипс представляет собой наиболее прямой путь, по которому планета может двигаться в искривлённом пространстве-времени (рис. 16).

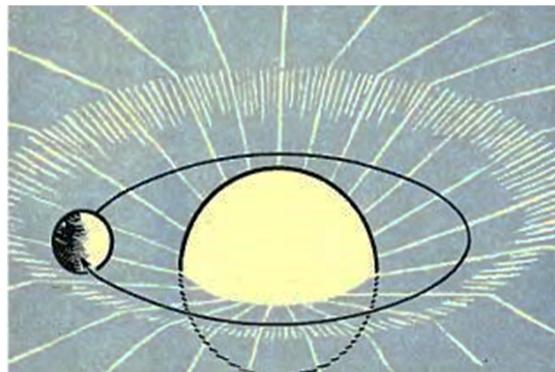


Рис. 16

Относительно геодезической линии необходимо пояснить следующее. На евклидовой плоскости, такой как ровный лист бумаги, наиболее прямая линия между двумя точками есть прямая линия. Она является также кратчайшим расстоянием. На поверхности шара геодезическая линия между двумя точками есть дуга большого круга. Именно она представляет собой наиболее прямое и кратчайшее расстояние между двумя точками поверхности шара. Планеты движутся вокруг Солнца именно по таким геодезическим линиям. В настоящее время движение планет по геодезическим линиям подтверждено так же, как и эквивалентность гравитационной и инертной масс.

Таким образом, в общей теории относительности в физику были введены принципиально новые идеи, которые вызвали ожесточённые споры и дискуссии.

Для аргументации справедливости новых физических идей в свое время Эйнштейн предложил несколько способов экспериментальной проверки общей теории относительности:

- прецессия перигелия орбиты Меркурия (аномалии в движении планет Солнечной системы);
- искривление световых лучей вблизи массивных тел;
- гравитационное красное смещение.

### *Прецессия перигелия орбиты Меркурия*

Как показал ещё Ньютон, силы, действующие в поле гравитации, изменяются с расстоянием в точности как  $1/r^2$ . Оказалось, что это можно проверить с большой точностью, наблюдая за движением планет. И. Ньютон утверждал, что если гравитационная сила меняется с

расстоянием в точности как  $1/r^2$ , то эллиптические орбиты планет не должны изменяться во времени. В частности, ближайшая к Солнцу точка эллипса (она и называется *перигелием*) не должна менять своего положения по отношению к «неподвижным» звездам, т. е. через год планета должна вернуться в исходное место. Однако астрономические наблюдения выявили малое перемещение перигелия Меркурия.

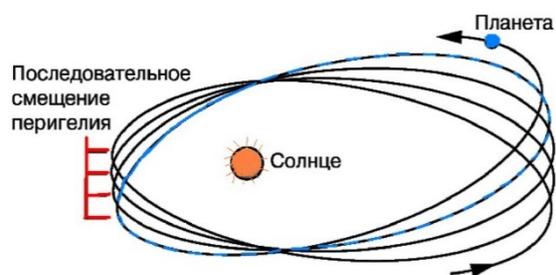


Рис. 17

Перигелий Меркурия прецессировал с очень малой скоростью и его орбита напоминала медленно поворачивающийся эллипс (рис 17). Данный факт даже с учётом возмущений других планет не удавалось объяснить исчерпывающим образом. Была выдвинута гипотеза

о наличии какой-то ранее не наблюдавшейся планеты между Меркурием и Солнцем, которую заранее назвали Вулканом. Её безуспешно искали в течение многих лет. После учёта влияния со стороны всех реальных прочих планет оказалось, что остаточная прецессия составляет  $43'',11$  за столетие, отчего и был сделан вывод, что закон всемирного тяготения слегка не точен.

По прогнозам ОТО, перигелии всех планетных орбит должны будут прецессировать. Величина прецессии, выведенная А. Эйнштейном в 1916 г., полностью совпала с аномальной прецессией перигелия Меркурия. Таким образом была решена известная в то время проблема небесной механики.

Позже релятивистская прецессия перигелия наблюдалась также у Венеры, Земли, астероида Икар и как более сильный эффект в системах двойных пульсаров. За открытие и исследования первого двойного пульсара PSR B1913+16 в 1974 г. Р. Халс и Д. Тейлор получили Нобелевскую премию в 1993 г. Таким образом, планетарные орбиты не представляют собой замкнутые кривые.

### ***Искривление световых лучей Солнца***

Общая теория относительности предсказывает, что когда световой луч проходит вблизи массивного тела, его путь должен слегка искривляться. Такой результат можно понять, если вспомним, что электромагнитное излучение, в том числе свет, обладает энергией; этой энергии соответствует вполне определённая масса. И ньютоновская

механика, и общая теория относительности признают, что свет должен отклониться к Солнцу (падать). Однако ОТО предсказывает вдвое большее смещение луча. В частности, такое искривление должен испытывать световой луч от наблюдаемой звезды, проходящий возле Солнца. Этот эффект, как писал Эйнштейн, можно обнаружить при наблюдении положения звёзд во время солнечного затмения. Фотографируется и фиксируется положение звезды в период солнечного затмения, а затем ночью через полгода после него. При искривлении света от звезды Солнцем должна наблюдаться разница в положении звезды (рис. 18 и 19).



Рис. 18

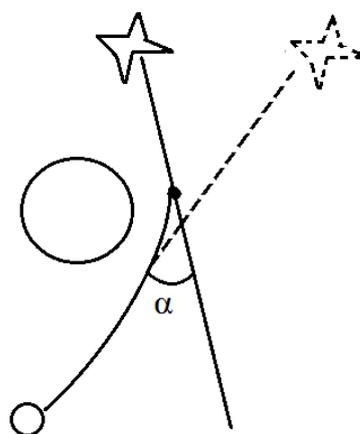


Рис. 19

Рассчитанное теоретически А. Эйнштейном отклонение луча было впоследствии экспериментально подтверждено наблюдениями научных экспедиций Лондонского Королевского общества, направленных для изучения солнечного затмения 29 мая 1919 г. Одна экспедиция работала в Бразилии (Собрал), а другая – на одном из островов, расположенных возле африканского материка (Принсипи).

Результаты экспедиций подтвердили теоретический прогноз, что луч света отклоняется вблизи Солнца и что отклонение, если приписать его действию гравитационного поля Солнца, по величине соответствует требованиям общей теории относительности Эйнштейна. Проведенные в 1922 г. новые измерения также подтвердили существование эффекта. Позже А. Эйнштейн писал М. Планку: «Судьба оказала мне милость, позволив дожить до этого дня» ([URL: biography-peoples.ru>index.php/e1/item/821-...](http://biography-peoples.ru/index.php/e1/item/821-...)).

## *Гравитационное красное смещение*

Под этим эффектом понимают уменьшение частоты света относительно локальных часов (соответственно увеличение длины волны и смещение положения линий спектра к красному концу спектра) при распространении света из гравитационной ямы наружу (из области с меньшим гравитационным потенциалом в область с большим потенциалом). Гравитационное красное смещение было обнаружено в спектрах звёзд и Солнца и надёжно подтверждено в эксперименте Паунда – Ребки.

Понять в общих чертах данный эффект можно из следующих рассуждений. Если выпустить из рук какой-либо предмет, то, падая вниз, он будет в поле тяготения увеличивать свою скорость и кинетическую энергию. Аналогично свет, «падая» в гравитационном поле, будет набирать энергию благодаря наличию у него массы, связанной с энергией излучения. Увеличение кинетической энергии падающего тела или частицы обусловлено возрастанием скорости ( $E = mv^2/2$ ). Однако, поскольку свет всегда распространяется со скоростью «с», увеличение его энергии связано с возрастанием частоты световой волны. Было установлено также, что если направление распространения света противоположно направлению вектора напряженности гравитационного поля, то свет будет терять энергию, а его частота понижаться. Действительно, оказалось, что видимый свет, испускаемый Солнцем («солнечная гравитационная яма», из которой свет выбирается), имеет в гравитационном поле Земли пониженную частоту  $\gamma$ , что соответствует увеличению длины волны. А это с точки зрения положения его в диапазоне длин волн означает смещение света в гравитационном поле к красному концу спектра. Другими словами, в результате этого эффекта линии солнечного спектра должны смещаться в сторону красного цвета по сравнению со спектрами соответствующих земных источников. Величина этого смещения очень мала, но измерима ( $\frac{\Delta\nu}{\nu} = 2,5 \cdot 10^{-15}$ ) и с точностью до 10 % совпадает со значением, предсказанным ОТО. Это невероятно малое изменение частоты удалось измерить с помощью эффекта Мёссбауэра. Красное смещение в спектрах небесных тел было обнаружено в 1923 – 1926 гг. при изучении Солнца, а в 1925 г. при изучении спутника Сириуса. Всё это явилось убедительным подтверждением общей теории относительности.

Теория относительности установила не только искривление пространства под действием полей тяготения, но и замедление хода времени в сильных гравитационных полях. Это следует из того, что должно выполняться определенное соотношение между энергией света и его частотой (т. е. числом световых волн в секунду). Чем больше энергия, тем выше частота. Если свет распространяется вверх в гравитационном поле Земли, то он теряет энергию и приводит к тому, что его частота уменьшается. Но это означает, что увеличивается длина волны, это соответствует увеличению интервала времени между гребнями двух соседних волн. Наблюдателю, расположенному на большой высоте, должно казаться, что внизу всё происходит медленнее (С. Хокинг. Про квантовую механику. URL: <http://psylib.org.ua/books/hokin01/txt05.htm>).

Таким образом, гравитационное замедление времени приводит к тому, что любые часы будут идти тем медленнее, чем глубже в гравитационной яме (ближе к гравитирующему телу) они находятся.

Подобно тому как специальная теория относительности говорит нам, что время идет по-разному для наблюдателей, движущихся друг относительно друга, общая теория относительности прогнозирует, что *ход времени различен для наблюдателей, находящихся в разных гравитационных полях*. Согласно общей теории относительности у поверхности Земли время течёт медленнее, чем на высоте, поскольку здесь сильнее гравитация. Чем сильнее гравитационное поле, тем больше этот эффект.

Данное предсказание было проверено в 1962 г. с помощью пары очень точных часов, установленных на вершине и у подножия водонапорной башни. Часы у основания, которые были ближе к Земле, шли медленнее в точном соответствии с общей теорией относительности (эксперимент Паунда – Ребки). Также данный эффект был непосредственно подтверждён в эксперименте Хафеле – Китинга, а также Gravity Probe A и постоянно подтверждается в GPS.

В эксперименте Хафеле – Китинга сравнивался ход времени часов в самолёте, совершавшем полёт на высоте 10 км, и часов на поверхности Земли. Часы, находящиеся на самолёте, опередили часы, оставшиеся на Земле на теоретически рассчитанную величину  $10^{-9}$  с.

Обратим внимание, что эффект замедления времени очень мал. К примеру, часы на поверхности Солнца лишь на минуту в год обго-

няли бы такие же часы, находящиеся на Земле. Однако с появлением сверхточных навигационных систем, получающих сигналы от спутников, разность хода часов на различных высотах приобрела практическое значение. Если бы аппаратура игнорировала предсказания общей теории относительности, ошибка в определении местоположения могла бы достигать нескольких километров.

Одно из самых фантастических предсказаний общей теории относительности – *полная остановка времени в очень сильном поле тяготения*. Замедление времени, как уже рассматривалось, проявляется в гравитационном красном смещении света. Чем сильнее тяготение, тем больше увеличивается длина волны и, следовательно, уменьшается его частота. При определенных условиях длина волны может устремиться к бесконечности, а частота – к нулю.

Со светом, испускаемым Солнцем, это могло бы случиться, если бы наше светило было шаром радиусом в 3 км или меньше. Правда, теоретические прогнозы показывают, что с Солнцем этого никогда не произойдет. Его центральная область может значительно сжаться, но всё же не так сильно. Однако другие звезды, массы которых в три и более раз превышают массу Солнца, скорее всего будут подвержены быстрому катастрофическому сжатию под действием своего собственного тяготения. Это приведёт их к состоянию чёрной дыры.

Гравитационное замедление времени влечёт за собой ещё один эффект, названный эффектом Шапиро, известный как эффект гравитационной задержки сигнала. Из-за этого эффекта в поле тяготения электромагнитные сигналы идут дольше, чем в отсутствие этого поля. Данное явление было обнаружено при радиолокации планет Солнечной системы и космических кораблей, проходящих позади Солнца, а также при наблюдении сигналов от двойных пульсаров.

Даже тяготение Солнца, достаточно небольшой по космическим меркам звезды, влияет на темп протекания времени, замедляя его вблизи себя. Поэтому, если мы пошлем радиосигнал в какую-то точку, двигаясь к которой необходимо быть рядом с Солнцем, путешествие радиосигнала займёт больше времени, чем в том случае, когда на пути этого сигнала Солнца не будет. Задержка сигнала при его прохождении вблизи Солнца составляет около 0,0002 с. Такие эксперименты проводились начиная с 1966 г. В качестве отражателя использовались как поверхности планет (Меркурия, Венеры), так и оборудование межпланетных станций.

Существует ряд и других эффектов, поддающихся экспериментальной проверке. Среди них можно упомянуть эффект Лензе – Тирринга (прецессия гироскопа вблизи вращающегося тела), астрофизические доказательства существования чёрных дыр, доказательства излучения гравитационных волн тесными системами двойных звёзд и расширение Вселенной.

До сих пор надёжных экспериментальных свидетельств, опровергающих ОТО, не обнаружено. Отклонения измеренных величин эффектов, предсказываемых ОТО, не превышают 0,1 %, что, однако, для современной физики не является вполне точным результатом. Проверка экспериментального подтверждения ОТО и в настоящее время является значимой задачей современной физики.

Резюме. Общая теория относительности ещё глубже изменила научные представления о пространстве, времени, взаимодействии (гравитации). Изменилась геометрия Вселенной: вместо плоского евклидова пространства и равномерного времени появилось искривленное пространство-время, человек оказался в искривленном мире. Гравитация перестала быть силовым взаимодействием – это эффект искривлённости пространства-времени.

Таким образом, в своей теории Эйнштейн вводит в научную систему физической науки ряд чрезвычайно революционных идей. Напомним слова М. Планка в эпитафии, который предупреждал Эйнштейна о том, что вряд ли он преуспеет в этой деятельности и даже если преуспеет, то всё равно никто ему не поверит. Действительно, в период своего появления для абсолютного большинства физиков ОТО была непонятной даже для тех, кто имел соответствующую математическую подготовку. По словам М. Борна, внесшего революционную идею о волнах вероятности, теория относительности «пленительна», однако «очень трудная и почти отпугивающая». В начале 20-х гг. XX столетия лишь немногие физики были в состоянии объяснить широкой публике смысл и содержание основополагающих идей ОТО. В России она категорически отвергалась в связи с постановками вопросов о начале возникновения Вселенной, конечности и бесконечности мира и его многомерности, что считалось противоречащим материалистической философии.

В системном виде основные революционные представления квантово-полевой картины мира в некотором приближении даны в табл. 5:

Таблица 5

Материя	Новые представления о материи формируются на основе идей квантования М. Планка, А. Эйнштейна, волновой механики Шрёдингера, механики Гейзенберга, квантовой теории атома Бора, идей Луи де Бройля. На основе утверждения концепции корпускулярно-волнового дуализма материя (как частицы, так и излучение) обладает корпускулярными и волновыми свойствами. Проявленность тех или иных свойств зависит от условий наблюдения. Иными словами, природа материи двойственна
Пространство	Углубляется представление о зависимости свойств пространства от материи. Наличие во Вселенной вещества искажает геометрию. Пространство перестало быть плоским. В общем случае дополнительно к свойствам пространства в электромагнитной картине мира добавляются новые представления о кривизне пространства, вводится пространственно-временной четырёхмерный континуум
Время	Представления о времени углубляются и расширяются. Согласно общей теории относительности ход времени различен для наблюдателей, находящихся в разных гравитационных полях. Чем сильнее гравитационное поле, тем больше этот эффект. Гравитационное замедление времени приводит к тому, что любые часы будут идти тем медленнее, чем глубже в гравитационной яме (ближе к гравитирующему телу) они находятся. Так, у поверхности Земли время течёт медленнее, поскольку здесь сильнее гравитация
Взаимодействие	В результате эквивалентности тяжёлой и инертной масс обосновано, что кинематические эффекты, возникающие под действием гравитационных сил, эквивалентны эффектам, возникающим под действием ускорения. Физически невозможно отличить действие однородного гравитационного поля и поля, порождённого равноускоренным движением. Не существует эксперимента, с помощью которого можно было бы отличить действие гравитационного поля от действия ускоренного движения по отношению к «неподвижным» звездам. Исходя из данного обоснования, вводится представление, что гравитация не является силой, а представляет собой свойство пространства, которое вызвано наличием в нём различных удалённых тел. Гравитационное поле не силовое, т. е. гравитация – свойство искривлённого пространства. Описание гравитационного взаимодействия между телами можно свести к кривизне пространства-времени

Движение	<p>Классический принцип относительности расширен и распространён на неинерциальные системы отсчёта. Никакими физическими опытами в любых системах отсчёта (инерциальных и неинерциальных) невозможно определить, покоится или движется система. Дополнительно невозможно выявить – это эффект гравитации или ускоренного движения системы. Потерял универсальность первый закон ньютоновской динамики. Оказалось, что движение по инерции может быть криволинейным и ускоренным (благодаря введению сил инерции). Движение планет и тел происходит не благодаря притяжению, а благодаря кривизне околозвёздного и околоземного пространства. Траектории тел всегда являются геодезическими линиями</p>
Причинность	<p>Специфичность квантово-полевых представлений о причинности в том, что причинно-следственные связи выступают в вероятностной форме в виде статистических законов. Волны Луи де Бройля, описывающие стационарные орбиты Бора, имеют вероятностную природу. Причинно-следственные связи описываются принципами неопределенности В. Гейзенберга и дополнительности Бора.</p> <p>В МКМ при описании объектов используются два класса понятий: пространственно-временные, которые дают кинематическую картину движения, и энергетически импульсные, дающие динамическую (причинную) картину. В МКМ и ЭМКМ они независимы. В КПКМ в соответствии с соотношением неопределенностей они не могут применяться независимо друг от друга, поскольку дополняют друг друга. Таким образом, пространство, время и причинность оказались относительными и зависимыми друг от друга. Начинает утверждаться принцип относительности к средствам наблюдения (классический принцип объективности наблюдения начинает ограничиваться)</p>

Резюме. С разработкой общей теории относительности произошла резкая и чрезвычайно существенная перестройка воззрений на физические первоосновы мироздания.

Тем не менее классическая механика и классическая электродинамика и поныне широко и плодотворно используются и не потеряют в будущем своего огромного значения. Объясняется это тем, что релятивистские эффекты начинают сказываться и значительно проявляться

только там, где приходится иметь дело либо с очень большими относительными скоростями тел (например, в современных ускорителях), либо с очень высокими концентрациями энергии и массы (ядерные процессы), либо с гигантскими гравитационными полями (вблизи звёзд). Тут расчёты должны вестись на основе эйнштейновской физики.

Следует сказать, что, как уже отмечалось, вокруг теории относительности развернулись широкие дискуссии, в которые включились люди разных специальностей, появилось множество научных и научно-популярных книг. Философские и физические дискуссии, так или иначе связанные с идеями СТО и ОТО, продолжаются и по сей день.

Дополнительными аргументами, способствующими научной полемике, продолжающейся и в настоящее время, можно считать наличие явлений, не объясняемых с помощью ОТО, среди которых аномалия фонового микроволнового излучения, тёмная энергия, тёмная материя и др. В связи с этими и другими проблемами ОТО теоретиками было разработано не менее 30 альтернативных теорий гравитации, причём некоторые из них позволяют получить достаточно близкие к общей теории относительности результаты.

Таким образом, квантово-полевая физическая картина мира не позволяет ответить и непротиворечиво объяснить все природные физические процессы, что обусловило дальнейшие научные поиски и стало причиной становления современной картины мира.

### **Вопросы для контроля**

Чем отличается принцип относительности ОТО от принципа относительности СТО?

Чем отличаются инерциальные системы от неинерциальных?

Благодаря какой новой идее А. Эйнштейн расширил классический принцип относительности СТО?

О чём говорит принцип эквивалентности масс?

Какими мысленными экспериментами можно подтвердить принцип эквивалентности?

Какими следствиями можно подтвердить справедливость положений и постулатов общей теории относительности? В чём суть подтверждающих экспериментов?

Каким образом подтверждается эффект замедления времени ОТО?

## Глава IV. ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

### § 1. Представления о материи в современной картине мира. Элементарные частицы и физический вакуум

#### *Элементарные частицы*

Человек, не ведающий сегодня о кварках, столь же ущербен, как и человек, который в начале века (20-го, Л. Г.) ничего не слышал об электронах.  
*Л. В. Тарасов*

Материя в современной физической картине, как и в квантово-полевой, одновременно и дискретна, и континуальна, т. е. сохраняется концепция корпускулярно-волнового дуализма. Однако современная физическая картина мира – принципиально новый уровень познания материи. Было достигнуто существенное углубление в познании вещества и произошло кардинальное изменение понятий «вакуум» и «физические поля».

Если говорить о проникновении в структуру вещества, то можно выделить три этапа, самым непосредственным образом связанных с новым пониманием физического вакуума и характера взаимодействия материи.

Этапы в познании строения вещества:

- выявлено строение атомов и молекул. Исследована электронная оболочка атомов и молекул, выяснена её роль в образовании химических связей;
- определено строение атомного ядра (протонно-нейтронная модель);
- поставлен вопрос о структуре самих элементарных частиц.

В пособии затронуты лишь некоторые вопросы в исследовании структурных компонентов современной физической картины мира, касающиеся наиболее существенных изменений по сравнению с предыдущими представлениями. Обратим внимание и на то, что физика характеризуется многообразием мнений по целому ряду физических

понятий и альтернативных научных парадигм, в рамках которых работают различные научные школы, именно поэтому современная физика – развивающаяся наука.

Начиная с 1932 г. XX столетия произошла серия открытий в познании компонентов строения материи. Если до 1932 г. было известно всего лишь три элементарные частицы (электрон, протон и фотон), то к 1964 г. их стало более 300, к настоящему времени – около 350.

Как выяснилось, большинство частиц оказались нестабильными – время жизни частицы не превышало  $10^{-22}$  –  $10^{-23}$  с. После открытия нейтрона (1932 г., нестабильной частицы) была разработана протонно-нейтронная модель строения ядра (Д. Иваненко, Е. Гапон в России и В. Гейзенберг в Германии).

Для упорядочения и систематизации обилия частиц были предприняты попытки их классификации, которые постоянно уточняются и изменяются, они осуществляются по самым разным основаниям, например,

по времени жизни:

- стабильные (электрон, протон, фотоны, нейтрино);
- квазистабильные (время жизни более  $10^{-20}$  с.);
- резонансы (время жизни около  $10^{-22}$  –  $10^{-24}$  с).

Все частицы обладают общими характеристиками: массой, зарядом, временем жизни, спином, квантовыми числами, внутренними квантовыми числами.

Позже были выделены семейства элементарных частиц:

- 1) фотоны;
- 2) лептоны;
- 3) адроны.

Второе семейство получило название от понятия «лепта» – мелкая монета, т. е. это мелкие, лёгкие частицы. В это семейство входят электрон, мезон, электронное нейтрино, мюонное нейтрино. Третье семейство – адроны – получило название от греческого «хадрос» – массивный, тяжёлый, сильный. В третье семейство включены два подсемейства – мезоны («средний») и барионы. Имеется также целый ряд других классификаций (рис. 20).

Элементарные частицы характеризуются невозможностью дальнейшего расщепления, бесструктурностью. Данные частицы, в свою

очередь, подразделяются на фундаментальные (истинно элементарные, их около 48, лептоны и кварки) и составные (условно элементарные, адроны).

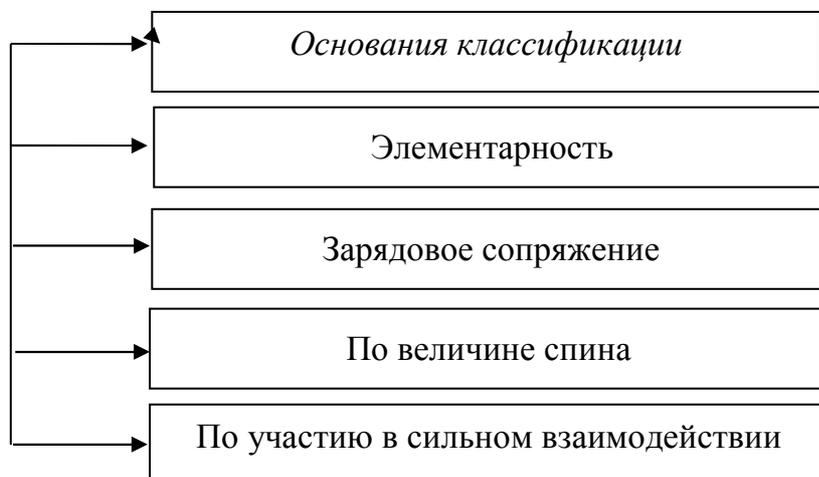


Рис. 20

«Элементарность» в настоящее время – широко обсуждаемое физическое понятие. Понятие «элементарная частица» в физике возникло в связи с идеей отыскания таких неделимых далее частиц, из которых состоит вся материя. Неделимость вначале приписывалась атомам, потом – ядру, затем – нуклонам (частицам, входящим в состав ядра). То есть первоначально термин «элементарная частица» подразумевал нечто абсолютно элементарное, т. е. первокирпичик материи. Однако, когда в 1950 – 1960-х гг. были открыты сотни адронов с похожими свойствами, стало ясно, что в строгом смысле слова элементарными они не являются. Дальнейшее открытие кварков, входящих в структуру адронов, поставило понятие «элементарность» под сомнение, и вряд ли есть возможность в настоящее время исчерпывающе строго дать определение такой частицы.

В данный период под элементарными понимаются частицы, которые во всех известных взаимодействиях ведут себя как единое целое, т. е. не состоят из более простых. Элементарные частицы понимаются как идеализированные тела столь малых размеров, что их можно рассматривать точечными (их можно условно принять за материальные точки).

*Частицы с зарядовым сопряжением* подразделяются на частицы и античастицы. Они обладают всеми одинаковыми характеристиками, кроме заряда. Античастицы обладают противоположным по знаку зарядом. Иначе, рядом с нами существует антимир. При взаимодействии частицы и античастицы происходит аннигиляция.

*Частицы по величине спина* подразделяются на частицы с целым и полуцелым спином. К частицам с целым спином относятся бозоны (названы в честь физика Бозе) и фотоны. К частицам с полуцелым спином относятся фермионы (названы в честь учёного Э. Ферми). Они подчиняются принципу Паули, т. е. в одном энергетическом состоянии может находиться не более двух фермионов с противоположными спинами или в одном энергетическом состоянии может находиться только одна частица. На этом основании были объяснены электронные оболочки атомов и следующее отсюда химическое многообразие элементов.

История открытия спина драматична и связана с различными физическими коллизиями. Спин – одно из самых фундаментальных свойств микрочастицы, связанный со своеобразным вращением частицы. Первым идею о наличии спина предложил Ральф Кронинг. Он пришёл к выводу о том, что частица должна чудовищно быстро крутиться и описывать круги со сверхсветовой скоростью, что не соответствовало классическим представлениям (скорость света – максимально большое значение). Другими словами, по его идее, электрон, подобно волчку, вращается вокруг собственной оси. Паули и Бор отвергали данную идею, но в 1925 г. к ней независимо от Ральфа пришли С. Гаудсмит и Дж. Уленбек. Данное предположение было выдвинуто ими исходя из выяснения характера степеней свободы, которым обладает электрон. Три степени свободы соотносились с тремя пространственными. Но четвертую степень свободы они никак не могли соотнести с известными представлениями. «Мы могли представить её себе, только предположив, что электрон имеет вид небольшой сферы, способной вращаться». В письме к своему учителю они писали: «Мы с Гаудсмитом почувствовали, что, может быть, лучше пока воздержаться от публикации, но когда мы заговорили об этом с Эренфестом, он ответил “Я уже давно отправил Ваше письмо в печать. Вы оба достаточно молоды, чтобы позволить себе сделать глупость”» (URL: [physiclib.ru/books/item/f00/s00/...копия](http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/...копия)).

Это замечание Эренфеста справедливо и поныне. Содержание данного понятия не имеет в современной науке общепринятой трактовки. В понимании большинства современных физиков спин (от англ. *spin*, буквально – вращение, вращать(-ся)) – собственный момент импульса элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого. При определении данного понятия в академических изданиях подчёркивается, что спин – это внутренняя, исключительно квантовая характеристика, которую нельзя объяснить в рамках релятивистской механики. Основанием данного понимания стали соображения, которые высказывались их первооткрывателями. Если представлять частицу как вращающийся шарик, а спин как момент, связанный с этим вращением, то оказывается, что поперечная скорость движения оболочки частицы должна быть выше скорости света, что недопустимо с позиции релятивизма. Данная группа физиков считает, что спин характеризует направление магнитного момента, т. е. это эквивалентно вращению вправо или влево. Подчёркивается, что именно «эквивалентно», так как понятие вращения к элементарным частицам неприменимо.

Однако имеется ряд физиков, которые связывают спин именно с вращением частиц и работают в рамках иных физических парадигм ([URL: quarkon.ru/physics/spin.htm](http://URL:quarkon.ru/physics/spin.htm) и др.). Тем не менее вектор спина есть единственная величина, характеризующая ориентацию частицы в квантовой механике.

К числу классификаций элементарных частиц относится и классификация, в которой они разделяются на *частицы, различающиеся по участию в сильном взаимодействии*. К данной классификации относятся те частицы, которые в нём участвуют, и те, которые в сильном взаимодействии не участвуют. В сильном взаимодействии участвуют адроны.

Изучение адронов – важнейшая веха в углублении понимания структуры материи в современной физической картине мира. Именно с исследованием адронов в физику введена гипотеза кварков.

К середине 60-х гг. XX столетия число обнаруженных адронов перевалило за 100, это вселило уверенность в том, что наблюдаемые частицы не отражают предельный элементарный уровень материи. Обилие наблюдаемых адронов свидетельствует, что они по сути не являются элементарными.

В 1964 г. независимо друг от друга М. Гелл-Манн и Д. Цвейг предложили модель кварков – частиц, из которых могут состоять адроны. Появление такой модели было обусловлено результатами экспериментов по рассеянию электронов на нуклонах (опыты, аналогичные опытам Резерфорда по обнаружению структуры атома). Эксперименты по рассеянию электронов показали, что нейтрон и протон имеют сложную структуру. Рассеяние происходило так, как если бы электроны налетали на крохотные твёрдые вкрапления и отскакивали от них под самыми невероятными углами. Объяснение сводилось к тому, что протон состоит из частей, радиус которых в 10 раз меньше радиуса протона.

Термин «кварк» выбран совершенно произвольно. В романе Дж. Джойса «Поминки по Финнегану» герою снится сон, в котором мечущиеся над бурным морем чайки кричат резкими голосами: «Три кварка для мистера Марка!» Такой подход вполне отвечает чрезвычайно абстрактному характеру понятий современных физических теорий.

Однако кварки должны были обладать особыми свойствами. В отличие от всех известных частиц, у которых электрический заряд равен целому числу зарядов электрона, у кварков он должен быть дробным. Тем не менее кварковая гипотеза становится наиболее общепризнанной. Действительно, пользуясь простыми правилами, можно было построить любой наблюдаемый или предсказываемый адрон. Вначале кварки были трёх сортов, или, как теперь говорят, «ароматов» (u-кварк – «верхний», d-кварк – «нижний» и s-кварк – «странный»). Недавно к ним присоединился ещё один – «очарованный», c-кварк. Кроме ароматов, кварки имеют ещё три «цвета», так что всего их теперь стало двенадцать (и столько же антикварков). Из этих частиц, пользуясь простыми правилами, удаётся построить почти все известные элементарные частицы.

Теоретически всё это довольно убедительно, но бесспорным доказательством существования кварков может стать, по мнению некоторых учёных, только открытие самих кварков. Казалось бы, частицы с таким необычным свойством, как нецелый электрический заряд, если только они существуют, могут быть легко обнаружены. Но вот тут-то и проявилась совершенно мистическая природа кварков: мно-

гочисленные поиски, ведущиеся достаточно долгое время, пока не дали каких-либо определённых результатов. Поиски кварков идут в нескольких направлениях.

Во-первых, это эксперименты на ускорителях. Если свободные кварки могут существовать, то при достаточно больших энергиях сталкивающихся частиц можно надеяться выбить из них кварки. Но пока это сделать не удалось, полагается, по причине громадной энергии связи. Для того чтобы разбить протон и выпустить кварки «на волю», надо приложить просто чудовищную энергию извне. Такую энергию невозможно получить на существующих сейчас ускорителях. Только эксперименты на значительно более мощных установках, которые позволят получать частицы с энергией в триллионы электронвольт, смогут дать окончательный ответ, существуют ли свободные кварки.

Есть и более простые способы поисков частиц с дробным зарядом. Все они основаны на предположении о том, что кварки в небольших количествах находятся в обычном веществе.

Предположительно, кварки могли быть выбиты из элементарных частиц космическими лучами, энергия которых намного превосходит энергию, получаемую на ускорителях. Конечно, такие атомы должны встречаться чрезвычайно редко. Однако вполне возможно, что в достаточно большом кусочке вещества окажется атом с нецелым зарядом. Но как его обнаружить? Как определить величину заряда? Тем не менее есть учёные, ведущие поиски кварков 24 часа в сутки.

Однако большинство физиков сам факт того, что кварки пока не найдены, объясняют кардинально иначе. Согласно общепринятой точке зрения, кварки могут существовать только внутри адронов и в принципе не могут наблюдаться в свободном состоянии. Появился даже применительно к кваркам термин конфайнмент (от англ. *confinement* – «тюремное заключение»).

Причиной конфайнмента служит необычное поведение сил взаимодействия кварков друг с другом. Силы, действующие между кварками, не уменьшаются с расстоянием, как это происходит, например, с гравитационными или электрическими силами, а растут по мере удаления кварков друг от друга. При малых расстояниях эти силы крайне малы, так что кварки оказываются практически свободными (это состояние называется асимптотической свободой). При попытке

выбить, удалить кварки силы взаимодействия между ними не уменьшаются, а увеличиваются. Именно поэтому в свободном состоянии обнаружить кварки принципиально невозможно.

Если эта интерпретация верна, то возникает возможность ограничить бесконечное дробление структуры материи. Действительно, атомы можно разложить на электроны и ядра, ядра, в свою очередь, – на протоны и нейтроны, а протоны и нейтроны – на кварки. Значит, пока кварки – это самые элементарные частицы, среди всех известных.

И всё же вопрос о существовании кварков продолжает оставаться предметом споров и гипотез. В то же время кварковая модель в настоящее время – единственная модель строения элементарных частиц, наиболее точно объясняющая строение адронов.

Хотя мы ещё многого не знаем о самих кварках, представление о них уже сегодня даёт возможность соединить многие, казалось бы, не связанные между собой теоретические положения в изящную картину структуры микромира. Ближайшая задача, в решении которой представление о кварках, возможно, сыграет ключевую роль, – это описание динамики процессов, происходящих в микромире. А это, в свою очередь, должно привести к созданию единой теории, объясняющей поведение всех элементарных частиц.

Таким образом, на этом этапе развития наших представлений о структуре материи на первый план выходят «новые элементарные частицы» – кварки. Все адроны состоят из шести кварков и есть достаточно серьезные основания считать, что их не должно быть больше. Кварки несут дробный электрический заряд: они обладают зарядом, величина которого составляет либо  $-1/3$ , либо  $+2/3$  фундаментальной единицы – заряда электрона. Все кварки имеют одинаковый спин, поэтому они относятся к фермионам.

Однако кварковая гипотеза не единственная. Существуют гипотезы о том, что кварки и лептоны сами состоят из более фундаментальных частиц – «преонов», т. е. современная физическая картина мира продолжает углубляться в проблему строения и структуру вещества.

В настоящее время имеются экспериментальные доказательства наличия у элементарных частиц достаточно сложной структуры и разработаны способы её изучения.

Выяснено, что нуклон имеет:

- центральную часть (кern, или «голый нуклон», радиус около  $10^{-16}$  м);
- пионную «шубу» (атмосфера из пи-мезонов);
- облако виртуальных частиц (внутри пионной атмосферы);
- виртуальные нуклон-антинуклонные пары;
- виртуальные фотоны.

Здесь как нельзя лучше подходят стихи В. Брюсова, который в прошлом веке писал:

Быть может,  
Эти электроны – миры,  
где пять материков,  
искусство, знанья,  
войны, троны  
и память сорока веков.  
Ещё, быть может,  
каждый атом – Вселенная,  
где сто планет.  
Там всё, что здесь,  
в объёме сжатом,  
Но также то,  
чего здесь нет.

Имеется ещё один аспект, связанный с современными представлениями об элементарных частицах, – это *струнная гипотеза*, струнная модель элементарной частицы (рис. 21).

Согласно стандартной модели элементарные частицы рассматриваются как нульмерные объекты, т. е. материальные точки. Согласно струнной гипотезе они не являются точечными частицами. Протоны, электроны и прочие элементарные частицы – это не точки в пространстве, а протяжённые объекты, получившие название квантовых струн. Теория струн основана на гипотезе о том, что все элементарные частицы возникают в результате колебаний и взаимодействий ультрамикроскопических квантовых струн, имеющих масштаб порядка планковской длины  $10^{-35}$  м. Каждая из этих частиц, известная

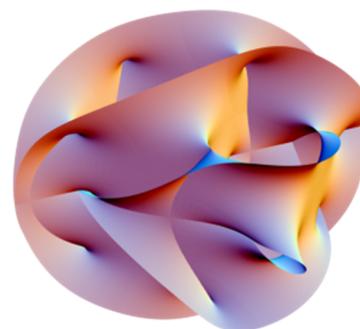


Рис. 21

как «элементарная», представляет собой своеобразную колеблющуюся нить, названную струной, которая принимается как одномерное образование.

Когда в 1970 г. теория возникла, они считались одномерными объектами (струнами). «Одномерный» говорит о том, что струна имеет только одно измерение – длину в отличие, например, от квадрата, который имеет длину и высоту.

Таким образом, теория струн представляет микрочастицы как следствие объединения тончайших одномерных струн, которые будут иметь вид точечных микрочастиц (см. рис. 21).

Согласно струнной теории струны могут вибрировать с различными частотами и в зависимости от тональности, в которой «звучат», они приобретают разные свойства, т. е. бывают попеременно протоном, электроном и т. д. Именно от тональности вибраций этих струн зависит возникновение того или иного вида взаимодействия между элементарными частицами (гравитация, ядерное взаимодействие, электромагнетизм, слабое взаимодействие).

Теория струн возникла в начале 1970-х гг. XX века в результате осмысления формул Г. Венециано, связанных со струнными моделями строения адронов. В 80 – 90-х гг. прошлого века ожидалось, что на основе теории струн будет сформулирована так называемая «единая теория», или «теория всего», поискам которой Эйнштейн безуспешно посвятил десятилетия. Приверженцы струнной теории оценивают её научную значимость чрезвычайно высоко. Так, один из создателей и разработчиков струнной теории Эдвард Виттен считает, что теория струн – это теория XXI века, и она случайно оказалась в XX веке. Необходимость этой теории объясняется тем, что она даёт определённый способ объяснения свойств всех взаимодействий и всех видов материи. Это значит, что теория струн может претендовать на роль единой теории поля.

Впоследствии было обнаружено, что, кроме струн необходимы и другие элементы. Их можно рассматривать как листы, или браны. Струны могут крепиться к их одной или обеим сторонам. D-браны – многомерные объекты, существование которых вытекает из теории открытых струн. «Брана» от «мембрана» – гипотетический фундаментальный многомерный объект. Происхождение бран можно упрощённо представить следующим образом. У открытых струн конец струны

может двигаться по некоторому многообразию. Это многообразие и называется D-браной (рис. 22). Кроме мембран, в М-теории появились также и трёхмерные объекты, и четырёхмерные, и так далее вплоть до девяти измерений. Для удобства этот класс объектов, заменивших струны, стали называть «бранами», указывая размерность – 1-я брана, 2-я брана, 3-я брана и т. д. (URL: [rustoria.ru/post/teoriya-strun-...копия](http://rustoria.ru/post/teoriya-strun-...копия)).

Браны могут иметь число пространственных измерений до числа пространственных измерений нашего пространства-времени. Как уже указывалось, основанием введения данного понятия послужили некоторые трудности квантовой теории.

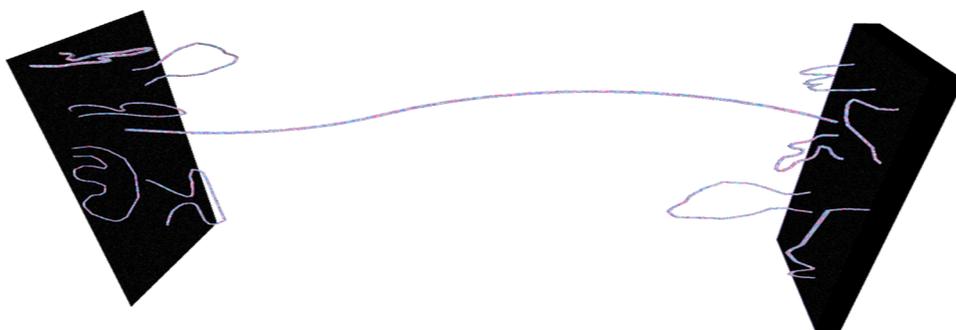


Рис. 22

Однако, по мнению большинства физиков, в настоящее время теория струн выглядит весьма убедительно и стройно лишь в своём математическом виде, но проверить её практическим путём пока не представляется возможным. Если квантовые струны действительно существуют, то они «находятся» на столь ничтожном микроскопическом уровне, что наука пока не располагает техническими возможностями доказать их существование или хотя бы «увидеть» следствия результатов их функционирования. В силу этого некоторые учёные предлагают не присваивать теории струн научного характера, пока она не получит экспериментальных доказательств (URL: [chuchotezvo.us.ru/science-...копия](http://chuchotezvo.us.ru/science-...копия)).

Таким образом, несмотря на математическую строгость и целостность струнной теории, пока не найдены варианты экспериментального её подтверждения, тем не менее достаточно большое количество современных учёных работают именно в рамках данной парадигмы.

## Физический вакуум

...основой мира является...вакуум

А. А. Гриб

Современная физическая картина мира, как уже указывалось, представляет иной уровень проникновения в структуру материи. *Теория вакуума активно разрабатывается квантовой физикой в рамках теории физических полей.* Переход от физики вещества к физике поля и развитие квантовой теории выдвинули новое понятие «физический вакуум», открывающий широкий горизонт дискуссии. Физический вакуум становится объектом все более пристального внимания ученых. Если в классическом понимании вакуум – «абсолютное ничто», пустота, то в современной физике это «нечто».

В настоящее время вакуум в физике приобретает совершенно новое понимание – это сложная материальная система, совершенно не похожая на систему, построенную из вещества. На этом уровне вакуум рассматривают как особый вид материи, как поле в состоянии с минимально возможной энергией. Квантовая электродинамика впервые наглядно показала, что пространство и время нельзя оторвать от материи, что так называемая «пустота» – это также одно из состояний материи, столь же неисчерпаемое богатством свойств, сколь и любое другое.

Уже в прошлом веке Дж. Уилер подчёркивал: «Пустое пространство не является пустым – оно представляет собой вмещилище самых бурных физических процессов. Электромагнитное поле флуктуирует. Там непрерывно рождаются и аннигилируют виртуальные пары электрона и протона, пары мю-мезонов, пары барионов и пары других частиц. Все эти флуктуации существуют наряду с квантовыми флуктуациями геометрии и топологии пространства» ([URL: pandia.ru/text/77/301/94](http://pandia.ru/text/77/301/94)).

А. А. Гриб эту картину ещё усиливает: «...возбуждением именно вакуумного состояния являются все элементарные частицы, из которых ... сложен весь мир. Поэтому изучение вакуума и его свойств превращается в одну из наиболее фундаментальных задач теоретической физики .... От старой... формируемой категории «небытия» мало что осталось. Небытие как отсутствие частиц и поля невозможно. Всматриваясь в вакуум, мы видим не темноту, а отдельные мерцаю-

щие вспышки – флуктуации вакуума, или нулевое поле вакуума. Можно было бы придумать множество поэтических названий для вакуума... – это мир Гейзенберга, и «бездна», и «меон» древних греков и т. п. Однако бесконечность плотности энергии и полной энергии вакуума – это ещё не все его необычные свойства» [6].

Американский физик Х. Пэйджелс выражает точку зрения, которая становится все более популярной: «Современная физика утверждает, что вакуум – это первооснова всей физики. Всё, когда-либо существовавшее или могущее существовать, уже присутствует в этом небытии пространства, ... и это небытие содержит в себе всё бытие» [14].

Н. В. Косинов, В. И. Гарборук, Д. В. Поляков в работе «О природе физического вакуума» пишут, что, несмотря на то что актуально физический вакуум ничего не содержит, он содержит всё потенциально, поэтому может выступать в качестве онтологической основы всего многообразия объектов и явлений в мире. В этом смысле пустота – самая содержательная и наиболее фундаментальная сущность. Такое понимание физического вакуума заставляет признать реальность существования не только в теории, но и в природе и «ничто», и «нечто».

Под физическим вакуумом в квантовой физике понимают состояние квантового поля с нулевой энергией, или низшее (основное) энергетическое состояние квантованного поля, обладающее нулевыми импульсом, моментом импульса и другими квантовыми числами. Иначе вакуум – это пространство, в котором отсутствуют реальные частицы и выполняется условие минимума плотности энергии в данном объёме, т. е. это своеобразная материя, способная при некоторых условиях «рождать» частицы. Согласно субстанциальной модели физического вакуума, предложенной Полем Дираком, вакуум не является пустотой, в которой ничего не находится. Он заполнен колоссальным количеством электронов, находящихся в состоянии с отрицательной энергией, которое можно рассматривать как некий океан.

Другими словами, квантовая физика представляет вакуум как основное состояние физических полей. Достаточно общепринято понимать под вакуумом нулевые флуктуирующие поля, с которыми связаны элементарные частицы. Согласно принципу неопределённости в физическом вакууме постоянно рождаются и исчезают виртуальные частицы: происходят так называемые нулевые колебания полей. Виртуальная частица – это частица, время жизни которой так ма-

ло́, что неопределённость энергии может превосходить порог рождения, это и приводит к появлению данной частицы:  $\Delta E \Delta t \geq h$  (если  $\Delta t$  стремится к нулю, то  $\Delta E$  растёт). Для её рождения не требуется, как видно из соотношения неопределённостей, специальная энергия. Виртуальные частицы рождаются как бы сами по себе, чтобы практически мгновенно исчезнуть. Это короткоживущие частицы, «частицы-призраки», которые невозможно наблюдать. То есть пустой вакуум заполнен виртуальными частицами. Он не безжизненен, а полон энергии. То, что называется частицами, всего лишь возмущения, подобные пузырькам на поверхности моря активности. Каждая элементарная частица, например, электрон в вакууме, окружён «шубой» из виртуальных частиц. Приборы воспринимают весь этот «рой» как целое, так как в реальности наука имеет дело с «одетыми» физическими электронами.

Реальность существования виртуальных частиц подтверждена поляризацией вакуума. Если между двумя обычными зарядами находится не пустота, а пространство с виртуальными заряженными частицами, то в этом случае должна происходить некоторая экранизация кулоновского взаимодействия, что подтверждается опытом. Виртуальные эффекты также подтверждаются существованием аномального значения магнитного момента у электрона и мюона.

Воспользоваться энергией вакуума, по современным представлениям, невозможно, так как он обладает наименьшей энергией, которая всё время перераспределяется между виртуальными частицами.

Некоторые представления о флюктуирующем вакууме уже были успешно подтверждены экспериментом. Так, эффект Казимира и лэмбовский сдвиг атомных уровней объясняются нулевыми колебаниями электромагнитного поля в физическом вакууме. Инфляционная теория Большого взрыва также может быть представлена, по некоторым версиям, самопроизвольным возникновением Вселенной из вакуума, когда в отсутствии частиц происходит случайная флюктуация. Флюктуация – это появление виртуальных частиц, которые непрерывно рождаются и сразу же уничтожаются.

Различают истинный и ложный вакуум. Истинный вакуум – это физическое состояние квантового поля, при котором среднее значение энергии всех составляющих его полей равно нулю. В нём рождаются виртуальные частицы. Ложный вакуум – это неустойчивое состояние, в котором отсутствуют частицы.

К экзотическим объектам современной физической картины мира относятся такие её структурные компоненты: **«тёмная материя» и «тёмная энергия».**

Тёмная материя в астрономии и космологии, а также в теоретической физике – гипотетическая форма материи, которая не испускает электромагнитного излучения (видимого света) и напрямую не взаимодействует с ним. Это свойство данного вида вещества делает невозможным её прямое наблюдение. Понятие «тёмная материя» возникло в современной космологии при обнаружении несоответствия астрономических наблюдений теоретическим расчётам.

В 1922 г. астрономы Джеймс Джинс и Якобус Каптейн исследовали движение звёзд в нашей Галактике и пришли к выводу, что для объяснения их наблюдаемых движений необходимо предположить, что бóльшая часть вещества в галактике невидима. В этих работах, вероятно, впервые появился термин «тёмная материя» (англ. *dark matter*). Широкое распространение термин получил после работ Ф. Цвикки. Цвикки измерял радиальные скорости восьми галактик в скоплении Кома (созвездие Волосы Вероники) и обнаружил, что для устойчивости скопления видимая масса звёзд явно не достаточна. Он заметил, что скопление галактик в этом созвездии удерживается вместе более сильным гравитационным полем, чем то, которое должно быть, исходя из видимой массы вещества в данной области. При детальном рассмотрении выяснилось, что светящегося вещества в этих скоплениях галактик было в несколько раз меньше, чем необходимо для их совместного нахождения за счёт силы тяготения. На основании закона тяготения ещё в те далёкие годы предположили, что существует некое невидимое вещество. Отсюда вытекал вывод, что большая часть массы скопления невидима.

Через 40 лет после работ Цвикки, в 70-е гг., американский астроном Вера Рубин изучала скорости вращения вокруг галактического центра вещества, расположенного на периферии галактик. Результаты её наблюдений можно истолковать только одним способом: плотность вещества в таких галактиках не убывает при движении от центра, а остается почти неизменной. Поскольку плотность видимого вещества (содержащегося в звездах и межзвездном газе) быстро падает к периферии галактики, недостающую плотность должно обеспе-

чивать нечто, чего мы по каким-то причинам увидеть не можем. Для количественного объяснения наблюдаемых зависимостей скорости вращения от расстояния до центра галактик требуется, чтобы этого невидимого «чего-то» было примерно в 10 раз больше, чем обычного видимого вещества. Это «нечто» также было связано с темной материей и до сих пор остается самой интригующей загадкой в астрофизике.

Вскоре другие астрономы пришли к таким же выводам для многих других галактик. Получается, что во Вселенной гораздо больше вещества, визуально не наблюдаемого.

Ещё одно важное свидетельство присутствия тёмной материи в нашем мире приходит из расчетов, моделирующих процесс формирования галактик после начала Большого взрыва. Эти расчеты показывают, что силы гравитационного притяжения, которые действовали между разлетающимися осколками возникшей при взрыве материи, не могли скомпенсировать кинетической энергии разлета. Вещество просто не должно было собраться в наблюдаемые в настоящее время галактики. Эта проблема получила название галактического парадокса, и долгое время её считали серьезным аргументом против теории Большого взрыва. Если же предположить, что на ранней стадии развития Вселенной частицы обычного вещества были перемешаны с частицами невидимой тёмной материи, то формирование галактик из звезд, а затем скоплений из галактик становится возможным. При этом, как показывают вычисления, сначала в галактики скучивалось огромное количество частиц темной материи и только потом за счет сил тяготения на них собирались элементы обычного вещества, общая масса которого составляла лишь несколько процентов от полной массы Вселенной.

Предположительно тёмная материя способна собираться в сгустки размером с галактику или даже их скоплений и принимать участие в гравитационных взаимодействиях. Гравитационное поле сгустков тёмной материи искривляет световые лучи и действует на них как гравитационные линзы. Считается, что тёмная материя состоит из неоткрытых частиц, которые в 100 – 1000 раз тяжелее протона.

Расчётные данные о количестве тёмной материи пока ещё разноречивы. Так, британские исследователи из радиоастрономической обсерватории Джодрелл Бэнк полагают, что наша Вселенная на две

трети состоит из тёмной материи. По другим оценкам обычное вещество составляет не более 10 % от реально содержащейся во Вселенной материи. Исследования, проведённые с помощью орбитального зонда WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), показывают, что обычного вещества во Вселенной около 5 %; 25 % приходится на тёмную материю, а остальные 70 % – на так называемую *тёмную энергию* (*Dark Energy*). Этот вывод сделали эксперты Принстонского университета, проанализировав данные с зонда WMAP, который был запущен американским космическим агентством NASA в 2001 г.

Согласно опубликованным в марте 2013 г. данным наблюдений космической обсерватории «Планк», интерпретированным с учётом стандартной космологической модели Лямбда-CDM, общая масса-энергия наблюдаемой Вселенной состоит на 4,9 % из обычной (барионной) материи, на 26,8 % из тёмной материи и на 68,3 % из тёмной энергии.

Таким образом, по теоретическим прогнозам (в связи с обнаруженными космологическими проблемами) *Вселенная на 95,1 % состоит из тёмной материи и тёмной энергии.*

Иначе можно сказать, что около 90 % материи во Вселенной представляет собой загадку. Это та материя, которую невозможно наблюдать в телескоп, которая не отражает лучи света и не излучает фотоны ни в каком диапазоне электромагнитного спектра. Фактически получается, что существует некое невидимое вещество, из которого построена Вселенная.

По некоторым источникам, тёмная материя Вселенной существует в нескольких видах (URL: [elementy.ru/lib/430380](http://elementy.ru/lib/430380)копия):

- обычное видимое вещество – 5 %;
- нейтрино – 0,3 – 3 %;
- барионная темная материя – 4 – 5 %;
- небарионная темная материя – 20 – 25 %;
- темная энергия – 65 – 70 %.

Сторонники гипотезы тёмной материи считают, что одним из существенных доказательств наличия тёмной материи во Вселенной можно считать данные, полученные в начале XXI века на космическом телескопе «Хаббл» с помощью гравитационного линзирования. Мингкук Джеймс Джи (Myungkook James Jee), Х. Форд (Holland Ford) и другие исследователи из университета Джона Хопкинса, наблюдая

за столкновением галактик, находящихся от нас на расстоянии в пять миллиардов световых лет, обнаружили, что их окружает кольцо из тёмной материи диаметром в 2,6 миллиона световых лет. Положение тёмной материи в этой области удалось вычислить, регистрируя слабые искажения излучения от более далёких галактик, которые находятся (по линии взгляда с Земли) за сталкивающимися звёздными системами.

К настоящему времени установлено, что даже самые маленькие сгустки тёмной материи занимают пространство в тысячу световых лет, а масса таких фрагментов в десятки раз превышает массу Солнца.

Однако в последнее время появились гипотезы, указывающие на то, что тёмной материи может и не быть. Так, почётный профессор Торонтского университета Джон Моффат (John Moffat) и Джоэл Браунштейн (Joel Brownstein) из Канадского института теоретической физики разработали теорию модифицированной гравитации, которая полностью объясняет наблюдаемое поведение скоплений галактик. Два канадских физика ввели в свою теоретическую разработку так называемые гравитоны, возникающие из вакуума. Наиболее интенсивно гравитоны рождаются вблизи больших масс. Из чего следует, что в центре галактики (где сосредоточены крупные массы) два объекта притягиваются друг к другу сильнее, чем если бы они находились на её окраине ([URL: fizika.zlatoust.ru/blog/2010-09-...копия](http://fizika.zlatoust.ru/blog/2010-09-...копия)).

Ещё более странной субстанцией современной физической картины мира является *темная энергия*. Тёмная энергия (англ. *dark energy*) в космологии – вид энергии, введённый в математическую модель, описывающую процесс развития Вселенной ради объяснения её наблюдаемого расширения. Согласно современным данным Вселенная после Большого взрыва расширяется всё быстрее и быстрее, причём темп расширения растёт со временем. Темпы расширения Вселенной описываются космологическим уравнением состояния. Разрешение уравнения состояния для тёмной энергии – одна из самых насущных задач современной наблюдательной космологии.

О тёмной энергии можно сказать еще меньше, чем о тёмной материи. Во-первых, она равномерно распределена по Вселенной в отличие от обычного вещества и других форм тёмной материи. В галактиках, скоплениях галактик её столько же, сколько и между ними. Во-вторых, она обладает несколькими весьма странными свойствами: не собира-

ется в сгустки и отталкивает материю (обладает антигравитацией). Именно за счёт антигравитации тёмной энергии можно объяснить всё ускоряющееся расширение Вселенной. Тёмная энергия как бы расталкивает саму себя, ускоряя при этом и разбегание обычной материи, собранной в галактиках. Также тёмная энергия обладает отрицательным давлением, благодаря которому в веществе возникает сила, препятствующая его растяжению.

Понять свойства тёмной энергии можно, лишь анализируя уравнения теории относительности и интерпретируя их решения ([URL: elementy.ru/lib/430380-...копия](http://URL:elementy.ru/lib/430380-...копия)).

Главный кандидат на роль темной энергии – вакуум. Плотность энергии вакуума не изменяется при расширении Вселенной, что и соответствует отрицательному давлению. Еще один кандидат – гипотетическое сверхслабое поле, получившее название квинтэссенция.

Надежды на прояснение природы тёмной энергии связывают прежде всего с новыми астрономическими наблюдениями. Прогресс в этом направлении, несомненно, принесёт человечеству радикально новые знания, поскольку в любом случае тёмная энергия должна представлять собой совершенно необычную субстанцию, абсолютно непохожую на то, с чем имела дело физика до сих пор.

Итак, наш мир около 95 % состоит из чего-то, о чём современная наука высказывает только догадки. Но именно эти нерешённые вопросы и являются причиной развития науки, причиной смен физических картин мира. Несомненно, разрешится и загадка тёмной материи и тёмной энергии, которые представляют собой конкретные виды движущейся материи.

### **Вопросы для контроля**

Какая концептуальная идея о природе материи справедлива для современной физической картины мира?

Что такое элементарная частица?

Почему существует множество классификаций элементарных частиц?

Какие типы частиц различаются по времени жизни?

Что такое спин элементарной частицы?

По какой причине была введена гипотеза существования кварков?

Каковы особенности взаимодействия кварков, почему они не могут быть обнаружены в свободном состоянии?

Что такое теория струн, какова модель частицы согласно этой теории?

Каковы современные представления о физическом вакууме?

На основании чего введена гипотеза о существовании виртуальных частиц, т. е. реальности ненаблюдаемых виртуальных частиц?

Что такое тёмные материя и энергия? Почему возникли гипотезы о их существовании?

## **§ 2. Движение, типы взаимодействий и Теория Великого объединения в современной физической картине мира**

Вся наука либо физика, либо филателия.  
*Эрнест Резерфорд*

Нам хотелось бы объяснить все известные явления единым образом, и с этой точки зрения все науки в конечном счете представляют собой разделы физики.  
*В. Вайскопф*

Когда говорят о движении, то обычно представляют внешнее пространственное перемещение тел среди других материальных предметов. Так, механическое движение – это движение по определенной траектории, однако существует и бестраекторное пространственное перемещение типа сферического распространения фронта механических волн в упругих средах и электромагнитных волн в полях, а движению элементарных частиц уже нельзя приписать определенную траекторию, как для материальной точки (см. квантово-полевую картину мира).

Таким образом, проникновение в суть физического движения углубляется и получает более расширенную интерпретацию с возникновением каждой новой физической картины мира. Изменились представления о движении и в современной физике.

Современная физическая картина мира понимает движение на гораздо более глубоком, фундаментальном уровне, чем классическая физика. Если взглянуть глубже, то и при пространственном переме-

щении тел обязательно присутствует изменение благодаря взаимодействию тела с предметами окружающей среды и материальными полями. Не существует такого движения, в рамках рассмотрения которого не было бы взаимодействия элементов материи, так же как и всякое взаимодействие выступает как определенное изменение и движение материальных объектов. *Взаимодействующие объекты обмениваются энергией и импульсом – основными характеристиками их движения.* По сути взаимодействие представляет собой развертывающийся во времени и пространстве процесс воздействия одних объектов на другие путём обмена материей и движением [7].

Другими словами, взаимодействие выступает как движение материи, а любое движение включает в себя различные виды изменений в результате взаимодействия. Именно взаимодействие – основная причина движения материи, поэтому взаимодействие, как и движение, универсально, т. е. присуще всем материальным объектам вне зависимости от их природы происхождения и системной организации. По существу эти понятия совпадают, хотя часто употребляются в разных контекстах [6].

Таким образом, взаимодействие и движение являются фундаментальными атрибутами материи. Огромное разнообразие природных систем и структур, их особенности и динамизм обуславливаются взаимодействием материальных объектов, т. е. их взаимным действием друг на друга, приводящим к изменениям и движению материальных объектов Вселенной. В настоящее время очевидно, что любые формы движения, изучаемые физикой, есть проявление глубинных свойств материи – так называемых фундаментальных взаимодействий.

Как уже подчёркивалось, категория «взаимодействие» считается одним из фундаментальных принципов объяснения существования, функционирования, развития мира и Вселенной. Доминирующей физической парадигмой, в рамках которой работает современное поколение физиков, является Стандартная модель – теоретическая конструкция в физике элементарных частиц, описывающая различные взаимодействия всех элементарных частиц, кроме гравитационного.

Построение Стандартной модели и её принятие как основной физической парадигмы произошло приблизительно в 80-х гг. прошлого столетия. Необходимость расширения модели возникла в 2002 г.

после обнаружения нейтринных осцилляций, а подтверждение существования бозона Хиггса в 2012 г. завершило экспериментальное обнаружение предсказываемых Стандартной моделью элементарных частиц.

Стандартная модель состоит из ряда основополагающих положений, касающихся именно взаимодействий элементарных частиц, их характера и переносчиков этих взаимодействий. В настоящее время ведутся интенсивные теоретико-методологические работы по включению в Стандартную модель гравитационного взаимодействия как одного из фундаментальных физических взаимодействий и созданию Теории Великого объединения. Разработка теории объединения обусловлена методологической идеей единства мира и историческими физическими подтверждениями существования такого единства.

Развитие физики свидетельствует, что существует только четыре качественно различных вида взаимодействий, в которых участвуют элементарные частицы. Эти взаимодействия называются фундаментальными, т. е. основными, исходными, первичными. На основе фундаментальных взаимодействий возникает всё многообразие свойств окружающего нас мира, за счёт которых происходят все явления природы. Изучение свойств фундаментальных взаимодействий составляет главную задачу современной физики.

Помимо качественных различий фундаментальные взаимодействия отличаются в количественном отношении по силе воздействия, которая характеризуется термином «интенсивность». По мере увеличения интенсивности фундаментальные взаимодействия располагаются в следующем порядке: гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное. Каждое из этих взаимодействий характеризуется соответствующим параметром, называемым константой связи, численное значение которого определяет интенсивность взаимодействия.

Квантовая теория значительно и существенно углубила классические представления, качественно изменив представления о механизмах фундаментальных взаимодействий. По современным исследованиям взаимодействие любого вида должно иметь своего физического агента, без посредника оно не протекает. В основе такого требования лежит тот факт, что скорость передачи воздействия ограничена фундаментальным пределом – скоростью света. На качественном уровне механизм фундаментальных взаимодействий осуществляется с

помощью квантов соответствующих полей. При этом в квантовой области фундаментальным взаимодействиям отвечают соответствующие элементарные частицы, называемые переносчиками взаимодействий. В процессе взаимодействия физический объект испускает частицы – переносчики взаимодействия, которые поглощаются другим физическим объектом. Это ведёт к тому, что объекты как бы чувствуют друг друга; их энергия, характер движения, состояние изменяются, т. е. они испытывают взаимное влияние. Таким образом, каждой частице, участвующей в одном из фундаментальных взаимодействий, соответствует своя бозонная частица – переносчик взаимодействия.

### *Электромагнитное взаимодействие*

Этот вид взаимодействия существует между любыми заряженными телами. В электромагнитном взаимодействии участвуют все заряженные тела, все заряженные элементарные частицы. В этом смысле оно достаточно универсально, но не всеобъемлюще, поскольку не все частицы являются носителями электрического заряда. Электрически нейтральны, например, фотон и нейтрино. Этим электричество отличается от гравитации.

В отличие от гравитационного взаимодействия, которое всегда выступает в виде притяжения, электромагнитное взаимодействие может проявляться и как притяжение (между разноименными зарядами), и как отталкивание (между одинаковыми зарядами). Благодаря электромагнитным связям существуют атомы, молекулы и макроскопические тела. Все химические реакции представляют собой проявление электромагнитных взаимодействий в результате перераспределения связей между атомами в молекулах, перестройки электронных оболочек атомов и молекул, а также количества и состава атомов в молекулах разных веществ. Изучением этих процессов занимается химия.

На заре развития науки об электричестве электрические и магнитные компоненты этого взаимодействия рассматривались как независимые, не связанные между собой родством. Впоследствии было осознано (см. электромагнитную картину мира), что обе силы – это проявление одного и того же феномена. Так в науке впервые было показано, что за внешним различием природных сил может скрываться их глубокая общность.

Теоретическое оформление теории электромагнитного взаимодействия получила в электродинамике Максвелла, согласно которой электромагнитное взаимодействие подчиняется концепции близкого действия и осуществляется посредством электромагнитного поля. Электродинамика Максвелла явилась законченной классической теорией электромагнетизма, сохраняющей свое значение и в наши дни, но отчетливо обнаруживающая и свои границы.

Современная физика создала более совершенную и точную теорию электромагнетизма, в которой учтены и квантово-полевые аспекты явления. Эта теория названа квантовой электродинамикой (КЭД).

Это продуманная до мельчайших деталей и оснащенная совершенным математическим аппаратом теория взаимодействия электромагнитного поля и заряженных частиц, а также заряженных частиц (прежде всего электронов или позитронов) между собой. Теория удовлетворяет основным принципам как квантовой теории, так и теории относительности.

В КЭД взаимодействие электромагнитного поля и заряженной частицы предстает в виде испускания и поглощения частицей виртуальных фотонов – безмассового бозона со спином 1. А взаимодействие между заряженными частицами понимается как результат их обмена фотонами: каждая заряженная частица испускает фотоны, которые затем поглощаются другой заряженной частицей. В случае разноименных зарядов обмен создает эффект притяжения, а в случае одноименных – отталкивания. Квантовое электромагнитное взаимодействие между зарядами условно изображается на рис. 23.

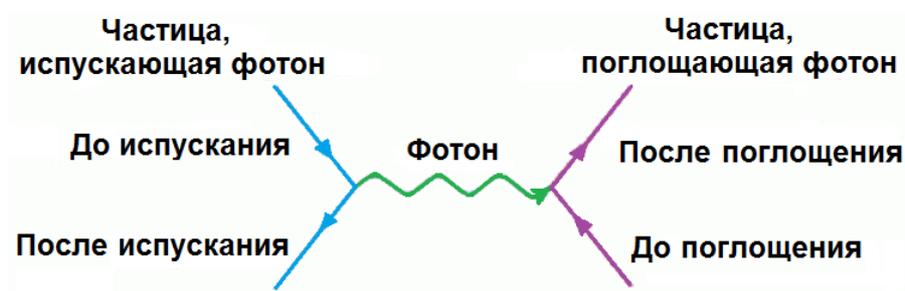


Рис. 23

К примеру, если в классическом описании электроны представляются в виде твердого точечного шарика, то в КЭД окружающее электрон электромагнитное поле рассматривается как облако виртуальных

фотонов, которое неотступно следует за электроном, окружая его квантами энергии. Фотоны возникают и исчезают очень быстро, а электроны движутся в пространстве по неопределенным траекториям.

По величине электромагнитные силы намного превосходят гравитационные. В отличие от слабого гравитационного взаимодействия эти силы, действующие между телами обычных размеров, можно легко наблюдать. Оно больше гравитационного в  $10^{39}$  раз.

Кроме того, КЭД рассматривает такие эффекты, которые в классической электродинамике вообще не существовали. Например, это эффект рассеяния света на свете, т. е. взаимодействия фотонов между собой. С точки зрения квантовой электродинамики такое рассеяние возможно благодаря взаимодействию фотонов с флуктуациями электронно-позитронного вакуума. КЭД предсказала и рождение в сильных электромагнитных и гравитационных полях пар частица – античастица, среди которых может быть нуклон – антинуклон.

В настоящее время квантовая электродинамика проверена на большом количестве очень точных опытов. Теоретические предсказания и экспериментальные результаты проверок совпадают с высокой точностью. Эта наблюдаемая точность даёт право считать КЭД достаточно совершенной естественнонаучной теорией. За создание квантовой электродинамики С. Томонага, Р. Фейнман и Дж. Швингер были удостоены Нобелевской премии за 1965 г. Большой вклад в становление КЭД был внесен и нашим выдающимся физиком-теоретиком Л. Д. Ландау.

После подобного триумфа КЭД была принята как модель для аналогичного квантового описания других фундаментальных взаимодействий. Разумеется, полям, связанным с другими взаимодействиями, должны соответствовать иные частицы-переносчики. В настоящее время КЭД выступает как составная часть более общей теории – единой теории слабого и электромагнитного взаимодействий.

### *Слабое взаимодействие*

Вспышка сверхновых звёзд – один из немногих случаев зримого проявления слабого взаимодействия. Человечество познакомилось со слабым взаимодействием, так и не осознав этого события, ещё в 1054 г., когда китайские астрономы отметили появление яркой голубой звез-

ды в той области неба, где раньше не наблюдалось ничего. Звезда ярко светила на протяжении нескольких недель. Современные астрономы считают вспышку 1054 г. взрывом сверхновой – гигантским взрывом старой звезды, вызванным внезапным коллапсом её ядра, который сопровождается кратковременным испусканием огромного количества нейтрино. Излучаемые нейтрино разметали наружные слои звезды в космическом пространстве, образовав клочья облаков расширяющегося газа. Ныне сверхновая звезда 1054 г. наблюдается в виде туманного светлого пятнышка в созвездии Тельца.

Это взаимодействие значительно слабее и сильного, и электромагнитного взаимодействий, но гораздо сильнее гравитационного. Это фундаментальное взаимодействие, существующее только в микромире. Оно ответственно за распады частиц и превращение одних частиц-фермионов в другие. К мысли о существовании слабого взаимодействия

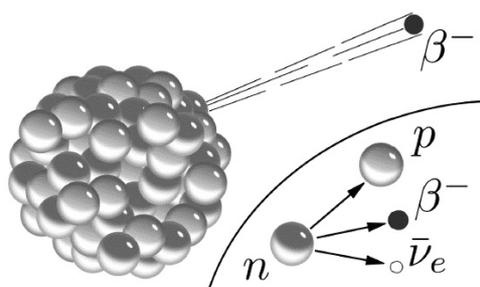


Рис. 24

привели опыты А. Беккереля, открывшего радиоактивность.

Типичный пример слабого взаимодействия – это бета-распад нейтрона (рис. 24):  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ , где  $n$  – нейтрон,  $p$  – протон,  $e^-$  – электрон,  $\bar{\nu}_e$  – электронное антинейтрино.

Следует, однако, иметь в виду, что указанное выше правило совсем не означает, что любой акт слабого взаимодействия обязан сопровождаться нейтрино или антинейтрино.

Слабое взаимодействие в отличие от гравитационного считается короткодействующим. Это означает, что слабое взаимодействие между частицами проявляется только тогда, когда они находятся очень близко друг к другу, на расстоянии, называемом характерным радиусом взаимодействия. Экспериментально установлено, что характерный радиус слабого взаимодействия порядка  $10^{-15}$  см, т. е. слабое взаимодействие проявляется на расстояниях, меньших размеров атомного ядра.

Слабое взаимодействие играет важную роль в так называемых термоядерных реакциях, ответственных за механизм энерговыделения в звёздах.

Удивительнейшим свойством слабого взаимодействия является существование процессов, в которых проявляется зеркальная асимметрия. Процессы гравитационного, электромагнитного и сильного взаимодействия инвариантны относительно пространственной инверсии, осуществляющей зеркальное отражение. Говорят, что в таких процессах сохраняется пространственная чётность  $P$ . Однако экспериментально установлено, что слабые процессы могут протекать с несохранением пространственной чётности и, следовательно, как бы чувствуют разницу между левым и правым. В настоящее время имеются твёрдые экспериментальные доказательства, что несохранение чётности в слабых взаимодействиях носит универсальный характер; оно проявляет себя не только в распадах элементарных частиц, но и в ядерных и даже атомных явлениях.

Вопрос о том, какие частицы служат переносчиками слабого взаимодействия, долгое время был неясен. Понимания удалось достичь сравнительно недавно в рамках объединённой теории электрослабых взаимодействий – теории Вайнберга – Салама – Глэшоу. В настоящее время общепризнано, что переносчики слабого взаимодействия – так называемые *тяжелые векторные бозоны* (их часто называют *промежуточными бозонами*)  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ , массы которых порядка 100 ГэВ. То есть это обменные бозонные частицы, имеющие значительную массу (рис. 25).

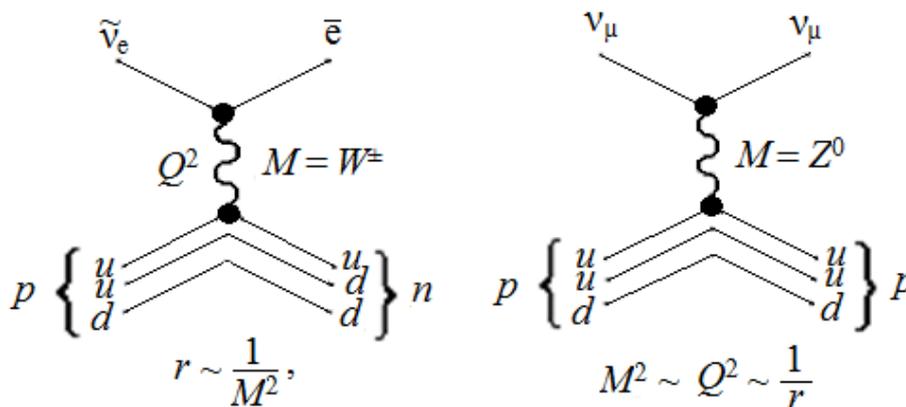


Рис. 25

Согласно разработанной теории, если промежуточный бозон движется с возрастающей скоростью, то он всё меньше отличается от фотона, всё менее существенным будет у него наличие массы. В

очень малых пространствах четыре частицы – три промежуточных бозона и фотон – будут как разные кванты одного и того же поля (принцип симметрии). Однако разрешающая сила наших «квантовых микроскопов» – ускорителей – пока ещё недостаточна для проникновения туда, где эта разница исчезает. Теория слабого взаимодействия была создана в конце 60-х гг. XX столетия. Её создатели (аналогично создателям теории относительности относительно пространства и времени) могли бы заявить, что отныне электромагнитное взаимодействие само по себе и слабое взаимодействие само по себе должны превратиться в фикции, и лишь некоторый вид их соединения должен сохранить самостоятельность. С момента построения Максвеллом теории электромагнитного поля создание данной теории явилось самым крупным шагом на пути к единству физики.

Один из создателей теории электрослабого взаимодействия подчёркивал: « В 1956 году, когда я начал заниматься теоретической физикой, наука об элементарных частицах напоминала лоскутное одеяло... Связной теории не было... достижения было непросто подогнать друг к другу.

Положение вещей изменилось... Теория, которой мы сейчас располагаем, – это цельное произведение искусства. Лоскутное одеяло превратилось в гобелен. Гобелен создают много мастеров, работающих вместе. Из законченной работы невозможно выделить вклады отдельных работников, а пропущенные или неверные нити перекрыты другими. То же и в нашей физике частиц. Одна часть картины – объединение слабых и электромагнитных взаимодействий. ... Другая часть связана с убедительной эволюцией кварковой гипотезы. ... Ещё одна нить – развитие квантовой хромодинамики и превращение её в мощную, предсказательную и внушающую доверие теорию сильных взаимодействий» (URL: [fizportal.ru](http://fizportal.ru)>glesoy).

### *Сильное взаимодействие*

Представление о существовании сильного взаимодействия постепенно складывалось по мере того, как прояснялась структура атомного ядра. Что-то должно удерживать протоны (одноименно заряженные частицы) в ядре, не позволяя им разлетаться под действием электростатического отталкивания. Очевидно, что гравитация для

этого слишком слаба. Следовательно, должно существовать какое-то новое взаимодействие, более сильное, чем электромагнитное. Оно получило название сильного взаимодействия. Радиус действия новой силы очень мал. Это взаимодействие действует лишь в масштабах порядка размера атомного ядра и менее.

Таким образом, хотя по своей величине сильное взаимодействие существенно превосходит все остальные фундаментальные взаимодействия, оно не может непосредственно проявляться в макроскопических телах.

Сильное взаимодействие испытывают протоны и нейтроны, т. е. нуклоны. Нейтрино и фотоны в сильном взаимодействии не участвуют. Оно проявляется и как обычное притяжение, не позволяющее разваливаться ядру, но вместе с тем и как слабая сила, вызывая распад некоторых нестабильных частиц. Вследствие своей большой величины сильное взаимодействие служит источником огромной энергии. По-видимому, наиболее важный пример энергии, высвобождаемой сильным взаимодействием, – это свечение звёзд и Солнца. В недрах звёзд непрерывно протекают термоядерные реакции, вызываемые сильным взаимодействием. Также именно в результате этого взаимодействия высвобождается энергия водородной бомбы.

Первые попытки объяснить природу сильного взаимодействия не принесли особого успеха. Ни одно из простых математических описаний процесса не было вполне удовлетворительным и приходилось вводить в расчеты много произвольных параметров.

Первая количественная теория взаимодействия нуклонов была разработана в 1935 г. японским физиком Х. Юкава. Согласно его теории взаимодействие между нуклонами осуществляется посредством обмена новыми частицами, которые сейчас известны как пи-мезоны (или пионы). Пионы были впоследствии открыты экспериментально в 1947 г. В этой пион-нуклонной теории притяжение или отталкивание двух нуклонов описывалось как испускание пиона одним нуклоном с последующим его поглощением другим нуклоном, т. е. была использована аналогия с электромагнитным взаимодействием, которое описывается как обмен виртуальным фотоном. Эта теория успешно опи-

сала целый круг явлений в нуклон-нуклонных столкновениях и связанных состояниях, а также в столкновениях пионов с нуклонами.

Дальнейшее понимание сущности сильного взаимодействия связано с введением кварковой модели. В этой теории, как уже указывалось, нейтроны и протоны рассматриваются не как истинно элементарные частицы, а как составные системы, построенные из кварков. Для удерживания кварков необходима удерживающая их сила, некий «клей».

В настоящее время существует квантовая теория сильного взаимодействия, получившая название квантовой хромодинамики. Согласно этой теории переносчиками сильного взаимодействия являются глюоны. Кварк, входящий в состав адрона, испускает глюон, который поглощается кварком, входящим в состав другого адрона. В результате возникает взаимодействие адронов друг на друга (рис. 26).

Таким образом, сильное ядерное взаимодействие – одно из четырёх фундаментальных взаимодействий в физике. В сильном взаимодействии участвуют кварки, глюоны и составленные из них частицы, называемые адронами (барионы и мезоны).

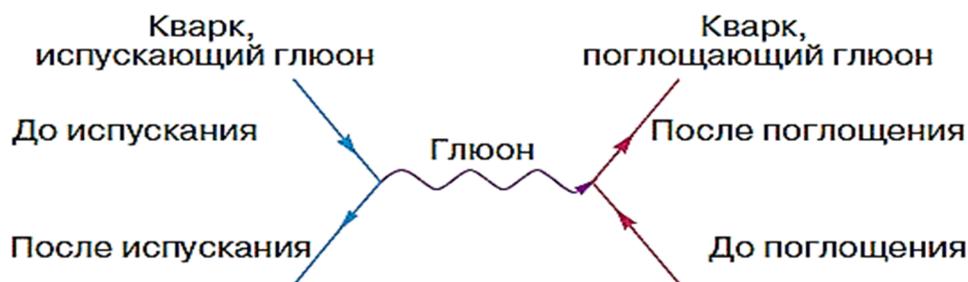


Рис. 26

### *Гравитационное взаимодействие*

Исторически гравитация (тяготение) стала первым из четырех фундаментальных взаимодействий предметом научного исследования. Истинную роль гравитации как силы природы удалось в полной мере осознать только после появления в XVII веке ньютоновской теории гравитации – закона всемирного тяготения (см. механическую картину мира).

Ньютоновский закон обратных квадратов стал воплощением «дальнодействующей» природы и характера гравитации. Это означает, что, хотя интенсивность гравитационного взаимодействия убывает с расстоянием, но её изменение распространяется в пространстве и мгновенно сказывается на весьма удаленных от источника телах.

Гравитация буквально не позволяет Вселенной развалиться на части: она удерживает планеты на орбитах, «связывает» звёзды в галактики, препятствуя разбеганию звезд в космическом пространстве. Гравитация определяет движение планет в звёздных системах, играет важную роль в процессах, протекающих в звездах, управляет эволюцией Вселенной, в земных условиях проявляет себя как сила взаимного притяжения. В астрономическом масштабе гравитационное взаимодействие, как правило, играет главную роль.

Гравитационное взаимодействие макроскопических и микроскопических объектов весьма незначительно и визуально не наблюдаемо, тем не менее гравитационное взаимодействие носит универсальный характер, в нём участвуют все виды материи, все объекты природы. Наиболее удивительной особенностью гравитации является её малая интенсивность. Гравитационное взаимодействие в  $10^{39}$  раз меньше силы взаимодействия электрических зарядов.

Общепринятой классической (не квантовой) теорией гравитационного взаимодействия считается эйнштейновская общая теория относительности, согласно которой гравитация связана с кривизной пространства-времени и описывается в терминах так называемой римановой геометрии. В настоящее время все экспериментальные и наблюдательные данные о гравитации укладываются в рамки общей теории относительности. Однако данные о сильных гравитационных полях по существу отсутствуют, поэтому экспериментальные аспекты этой теории содержат много вопросов. Такая ситуация порождает появление различных альтернативных теорий гравитации.

Однако в рамках данной физической парадигмы работают далеко не все физики. В настоящее время достаточно большой корпус учёных рассматривает гравитацию в рамках полевой гипотезы, представляя гравитацию как *гравитационное поле*. Согласно полевой концепции каждая частица является источником гравитационного поля,

оказывая тяготение на другую частицу, находящуюся в этом гравитационном поле. Развитие полевой гипотезы интенсивно развивается в *теории квантовой гравитации*.

Современные физики работают над задачей квантования гравитации. Как принято считать, принципы квантовой механики носят универсальный характер и применимы к любому физическому объекту. В этом смысле гравитационное поле не представляет исключения. На квантовом уровне гравитационное взаимодействие может переноситься гипотетической элементарной частицей, называемой гравитон. Предположительно гравитон – это безмассовый бозон со спином 2. Гравитационное взаимодействие между частицами, обусловленное обменом гравитоном, условно изображается следующим образом (рис. 27). Одна частица испускает гравитон, другая его поглощает. В результате возникает воздействие частиц друг на друга (см. рис. 27).

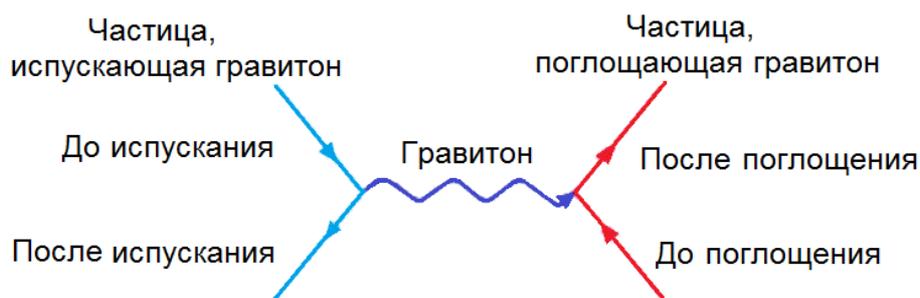


Рис. 27

Последовательная квантовая теория гравитации ещё не построена. Не исключено, что в обозримом будущем не удастся поставить эксперименты, в которых проявили бы себя квантовогравитационные эффекты в силу их малости. Поэтому теоретическое исследование вопросов квантовой гравитации остается единственной возможностью продвижения вперед.

Тем не менее есть явления, где квантовые эффекты могли бы быть чрезвычайно существенны. Это гравитационный коллапс и Большой взрыв. Понимание физики Большого взрыва невозможно в рамках классической теории, поэтому описание конечной стадии гравитационного коллапса и начальной стадии эволюции Вселенной мо-

жет быть осуществлено, по мнению ряда космологов, только с привлечением квантовой теории гравитации.

Один из аспектов теории связан с существованием гравитационных волн. Движение массивного тела должно вызывать возмущение своего гравитационного поля, распространяющегося со скоростью света в форме гравитационной волны. Из-за ничтожной малости гравитационной силы волна имеет малую амплитуду. Даже такие грандиозные космические события, как взрыв сверхновой или коллапс массивной звезды, создают гравитационные волны, по теоретическим оценкам лежащие за пределами чувствительности современных регистрирующих приборов. Тем не менее американским физикам Р. Хялси и Дж. Тейлору удалось косвенно подтвердить существование гравитационных волн, за что в 1993 г. они получили Нобелевскую премию.

Для гравитации не существует противоположной эквивалентной силы отталкивания (антигравитации), все античастицы обладают положительными значениями массы и энергии.

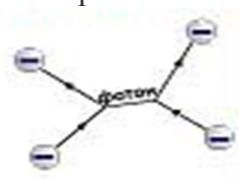
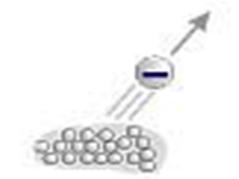
Итак, с точки зрения квантовой теории гравитации поле тяготения подвергается квантованию; квантами этого поля являются гравитоны, а силы тяготения – результат постоянного обмена между телами гравитонами или гравитационными волнами. Они переносят энергию, обладают пространственно-временными свойствами, импульсом и другими характеристиками, присущими материальным объектам.

Но в общей теории относительности существует, как уже указывалось, и альтернативное понимание гравитации как проявления кривизны пространственно-временного континуума. Тем самым гравитация сводится к метрическим особенностям пространства-времени. Поле тяготения создает искривление пространства, тем большее, чем больше тяготеющая масса.

Таким образом, говорить о существовании однозначного ответа в современной физике на вопросы, какая из этих теорий верна или чем является гравитация – неким полем, искривлением пространства-времени или тем и другим вместе, пока не приходится. На этот счёт существуют разные мнения и концепции. Поэтому нет и завершённой теории квантово-гравитационного взаимодействия.

Свойства различных фундаментальных взаимодействий можно обобщить и систематизировать (табл. 6).

Таблица 6

Вид взаимодействия	Взаимодействующие частицы	Проявление	Механизм	Интенсивность	Радиус действия, м
<p>Сильное</p> 	Тяжелые частицы (кварки, нуклоны)	Ядерные силы, обеспечивающие существование ядер	Обмен глюонами	1	$10^{-15}$
<p>Электромагнитное</p> 	Заряженные частицы, фотоны	Кулоновская сила, обеспечивающая существование атома	Обмен фотонами	$\frac{1}{137}$	$\infty$
<p>Слабое</p> 	Кварки, лептоны	$\beta$ -распад	Обмен бозонами	$10^{-10}$	$10^{-18}$
<p>Гравитационное</p> 	Все тела Вселенной	Всемирное тяготение, обеспечивающее существование звезд, планетных систем	Обмен гравитонами	$10^{-38}$	$\infty$

Как уже указывалось ранее, абсолютное большинство физиков при разработке современной физической картины мира работают в рамках Стандартной модели (1974 г.), сутью которой стало представление, что основой Вселенной выступают поля, а не частицы. В рамках данной модели одна из главных проблем была связана с полем и частицей Хиггса. Эта частица считается последним недостающим элементом, дающим понимание того, как была создана Вселенная. Она связана с существованием вездесущего поля, позже также названного полем Хиггса. Через это поле могут свободно пройти только фотоны, а другие частицы замедляются. Все взаимодействующие с полем Хиггса частицы приобретают вследствие этого массу. Иначе говоря, решалась проблема происхождения массы частиц.

В отличие от протонов и нейтронов такие элементарные частицы, как кварки и электроны, неделимы. Откуда у них берутся массы покоя – главная загадка происхождения массы. Почему элементарные частицы тоже обладают массой, а согласно результатам недавних исследований массой обладают даже нейтрино. Ранее считалось, что эти частицы, слабо взаимодействующие с веществом, не обладают собственной массой.

Согласно современной физической теории массы фундаментальных частиц – это результат их взаимодействия с полем Хиггса и частицей-переносчиком – бозоном Хиггса; без него у материи не может быть массы.

Согласно мнению сторонников данной модели после Большого взрыва в момент зарождения и первоначального этапа развития Вселенной протоны и электроны двигались беспорядочно. В результате их взаимодействия с полем Хиггса они замедлились и получили свою индивидуальную массу. В рамках струнной теории струны также обладают массой благодаря взаимодействию с этим полем. По словам А. Барра, поле Хиггса, как густой сироп, который улавливает частицы, перемещающиеся вокруг, и превращает их в материю, обладающую массой. Поле Хиггса – это квантовое поле. Оно сформировано из бозонов Хиггса, т. е. квантами этого поля являются хиггсоны. Таким образом, продолжалась развиваться идея природы всех элементарных частиц, сводящаяся к тому, что частицы представляют собой кванты соответствующих квантовых полей.

Бозон Хиггса – это частица-переносчик взаимодействия с полем Хиггса. Частица, существование которой предположил в 1964 г. британский физик Питер Хиггс, имеет много оригинальных названий: «Частица Бога», «Ангел Творения» и «Кирпич, который построил Вселенную».

Поиск «Частицы Бога» был одним из основных направлений экспериментов на большом адронном коллайдере. По мнению некоторых физиков, она была экспериментально обнаружена 4 июля 2012 г. и обладала массой  $125 - 126 \text{ ГэВ}/c^2$ .

Однако некоторые эксперты не на 100 % уверены, что это сама «частица Бога», но сходятся во мнении, что найденная частица на неё

очень похожа. «Это почти бозон Хиггса», – считает один из экспериментаторов А. Барр. Можно сказать, что это очень близкий родственник частицы, но необходимо посмотреть на более мелкие детали, чтобы окончательно в этом убедиться. В этом эксперименте учёные пытались воспроизвести первую миллиардную долю секунды после Большого взрыва, после начала возникновения Вселенной.

В связи с развитием теории фундаментальных взаимодействий и введением частицы Хиггса дополняется и видоизменяется классификация элементарных частиц (рис. 28, 29).



Рис. 28



Рис. 29

Развитие современной физической картины мира в настоящий период связано с идеей объединения фундаментальных взаимодействий. Согласно идее объединения в природе существует только одно единое фундаментальное взаимодействие, проявляющее себя в конкретных ситуациях то как гравитационное, то как слабое, то как электромагнитное, то как сильное или как их некоторая комбинация.

Предпринимаются попытки найти принцип объединения всех четырёх фундаментальных взаимодействий. Модели, единым образом описывающие три из четырёх фундаментальных взаимодействий (проявляющиеся в физике элементарных частиц), называются моделями Великого объединения. Теоретические схемы, в рамках которых объединяются все известные типы взаимодействий (включая и гравитационное), называются моделями супергравитации.

Теории, которые пытаются объединить все четыре типа взаимодействия, называют также универсальными теориями, теориями всего сущего. Если бы такая теория была создана, это означало, что человечеству удалось бы построить достаточно целостную и замкнутую физическую картину мира, поскольку она бы включала в себя все базовые принципы и законы мироздания. Эта заветная цель современной физики пока ещё далека от того, чтобы быть достигнутой, но уже сейчас делаются попытки построения таких теорий.

Идея такого объединения обусловлена реальными вариантами рассмотрения отдельных видов физических взаимодействий с единых позиций. Историческая схема процесса объединения фундаментальных взаимодействий представлена на рис. 30 [7].

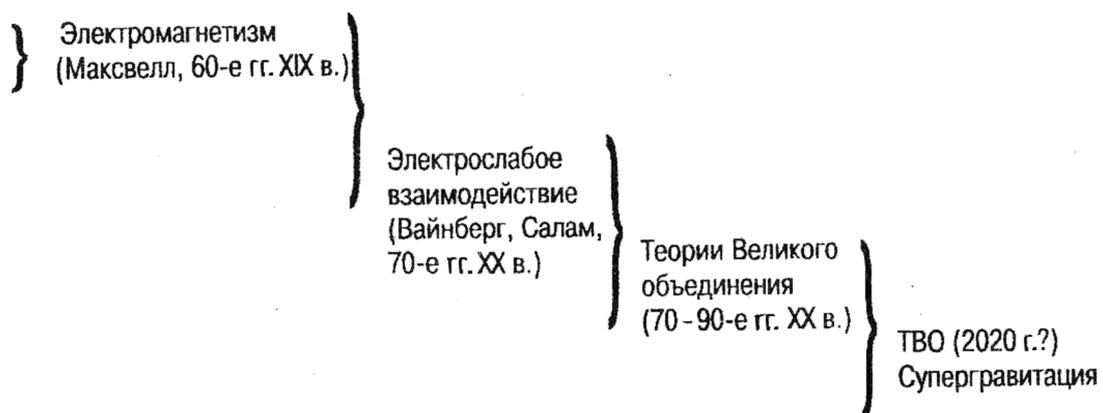


Рис. 30

Идея объединения физических взаимодействий началась с синтеза электричества и магнетизма в рамках теории Максвелла в XIX веке. Основные этапы такого объединения достаточно подробно показаны при раскрытии содержания электромагнитной картины мира (работы Эрстеда, Ампера, Фарадея, Максвелла).

Вторым этапом развития данной идеи стало объединение слабого и электромагнитного взаимодействий, получившего название электрослабого.

Причинами исследований в направлении объединения слабого и электромагнитного взаимодействий послужили затруднения и проблемы создания теории слабых взаимодействий. В процессе решения выявленных проблем возникла гипотеза, что трудности теории удастся преодолеть, если допустить, что слабое и электромагнитное взаимодействия – это разные проявления одного взаимодействия, наподобие того, как электричество и магнетизм – два проявления единой сущности. Эта идея в 60-х гг. прошлого века была воплощена в теорию независимо работавшими физиками С. Вайнбергом и А. Саламом.

Позже в 1979 г. работа Ш. Л. Глэшоу, А. Салама и С. Вайнберга по созданию теории электрослабого взаимодействия была отмечена Нобелевской премией по физике.

Разработанная теория исходит из существования единого фундаментального заряда, отвечающего одновременно и за слабое, и за электромагнитное взаимодействия. При очень высоких температурах (энергиях) структура вакуума нарушается, слабое и электромагнитное взаимодействия сливаются воедино, и заряд порождает общее поле. Квантом общего поля служит безмассовая бозонная частица с бесконечным радиусом действия. При понижении температуры до критического значения вакуум переходит в иную более упорядоченную модификацию, что меняет характер его взаимодействия с электрослабым зарядом. В результате заряд распадается на две части, одна из которых предстаёт как электромагнитный заряд, а другая – как слабый. В свою очередь, безмассовая бозонная частица распадается на составляющие. Выделяется бозон электромагнитного воздействия – фотон. А полям слабого заряда соответствуют три тяжелых бозона, получивших свои массы в результате взаимодействия со структурой модифицированного вакуума.

Эта теория влечет ряд следствий, допускающих экспериментальную проверку. Так, она предсказала существование векторных бозонов (W- и Z-частиц), что получило надежное подтверждение в 1983 г. Руководителям этого эксперимента была присуждена Нобелевская премия в 1984 г.

Объединение электромагнитного и слабого взаимодействий в единое электрослабое взаимодействие стало первым обнадеживающим успехом на пути создания Теории Великого объединения.

Следующим этапом в разработке этой теории был этап по объединению электрослабого и сильного взаимодействий в единую электрорядерную силу. Здесь основная идея заключалась в использовании концепции калибровочной симметрии.

Для понимания сложностей в создании единой теории электрослабого и сильного взаимодействий и значимости, необходимости использования теории калибровочной симметрии требуется сделать небольшое, но чрезвычайно важное отступление.

Обратим внимание, что в современной физике в отличие её от физики классической инструментом физического познания является не только опыт и эксперимент, но и теоретическое моделирование. Тип мышления современной науки – теоретический, именно поэтому многие фундаментальные положения современной физики – это результат развития теоретической физики. Наиболее ярко эвристическая функция теоретической физики проявилась при разработке квантовой теории фундаментальных взаимодействий. *При создании всех моделей, объединяющих отдельные виды взаимодействий, в качестве инструмента, метода научного познания использовался принцип симметрии и, в частности, принцип калибровочной симметрии.*

Благодаря именно калибровочной симметрии было предсказано существование многих неизвестных ранее элементарных частиц и новых физических полей.

Принципы симметрии обладают чрезвычайно большой общностью. Более того, по словам выдающегося американского физика-теоретика Ю. Вигнера, симметрия «управляет» законами, а законы «управляют» явлениями. Так, идея симметрии в случае отсутствия наблюдательных фактов часто служила учёным путеводной нитью

при рассмотрении многих важнейших проблем мироздания. П. Девис, автор книги «Суперсила», о значении симметрии в современной физике пишет: «... в последние годы «симметричная лихорадка» завладела умами в ряде областей физики. Теперь уже ни у кого не вызывает сомнения, что именно симметрия служит ключом к пониманию природы взаимодействий. По убеждению многих физиков, все взаимодействия существуют лишь для того, чтобы поддерживать в природе некий набор абстрактных симметрий» ([URL: physicexperts.ru/pexps-1129-1.html](http://physicexperts.ru/pexps-1129-1.html)...копия).

*Симметрия выражает сохранение чего-либо, несмотря на некоторые изменения и преобразования.* Таким образом, понятие симметрии описывается диалектикой сохранения и изменения, т. е. предмет обладает симметрией, если он остаётся неизменным в результате проведения той или иной операции по его преобразованию. Так, сфера симметрична, поскольку при повороте на любой угол относительно ее центра выглядит одинаково. Законы электричества симметричны относительно замены положительных зарядов отрицательными и наоборот. *Таким образом, под симметрией понимается инвариантность (сохраняемость, неизменность) относительно некой операции.* Каждому виду симметрии соответствует свой закон сохранения.

В физике общепринято выделять две формы симметрии: геометрическую и динамическую. К первой группе относится та симметрия, которую можно непосредственно видеть, это симметрия положений, форм, структур. Симметрии, выражающие свойства пространства и времени, относят к геометрической форме симметрии. Так, примерами геометрических симметрий можно назвать симметрии, связанные с однородностью и изотропностью пространства, однородностью времени. Симметрия, связанная с однородностью пространства, выражается в том, что физические законы неизменны, инвариантны по отношению к *переносам в пространстве*, т. е. при переносе какого-либо устройства из одной точки пространства в другую результаты опытов не изменятся. Физические законы *инвариантны и по отношению к поворотам в пространстве*. Эта симметрия связана с *изотропностью пространства*. Например, результаты опыта будут одинаковыми вне зависимости от того, куда повернута установка. Симметрия

физических законов, обусловленная *однородностью времени*, проявляется в том, что они *инвариантны по отношению к переносам во времени*.

К динамическим симметриям относят симметрии внутренних свойств объектов и процессов. В общем случае геометрические и динамические симметрии можно рассматривать как внешние и внутренние симметрии.

Как частный случай вторая группа характеризует симметрию физических явлений и законов природы. Особое внимание на этот факт обращал Р. Фейнман, писавший: «...всё многообразие законов физики пронизано несколькими общими принципами, которые, так или иначе, содержатся в каждом законе. Примерами таких принципов могут служить некоторые свойства симметрии» (URL: [bspu.ru/course/20084/20424...](http://bspu.ru/course/20084/20424...)копия).

Симметрия такого рода представляет свойство физических законов, детально описывающих поведение систем оставаться инвариантными (неизменными) при определенных преобразованиях, которым могут подвергнуться входящие в них величины.

Принцип относительности в классической механике – это пример симметрии физических законов по отношению к переходу из одной инерциальной системы отсчета в другую. Эта симметрия устанавливает равнозначность всех инерциальных систем отсчета. Другим примером такого рода является перестановочная симметрия. Никакие физические явления не изменяются при перестановке двух частиц (например, различных нуклонов).

Для класса внутренних симметрий уравнений теории поля (т. е. симметрий, связанных со свойствами элементарных частиц, а не со свойствами пространства-времени), применяется общее название – калибровочная симметрия.

Термин «калибровка» происходит из сферы деятельности железнодорожников, где он означает переход с узкой колеи на широкую. Под калибровкой, таким образом, первоначально понималось изменение уровня или масштаба (URL: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20634>).

В физике термины «калибровочные преобразования», «калибровочная симметрия», «калибровочные поля» генетически восходят к

термину «масштабная инвариантность», или «калибровочная инвариантность». Данные понятия введены Г. Вейлем в конце второго десятилетия XX века и связаны с попыткой сформулировать единую теорию поля, которая объединила бы электромагнетизм и общую теорию относительности. В теории Вейля для каждой точки пространства-времени предполагается различный масштаб длины и времени. В то же время его теория оставалась инвариантной (неизменной) по отношению к произвольным расширениям или сжатиям пространства. Сам же выбор соглашения о масштабе Вейль уподоблял выбору калибровочных блоков в строительстве, употребляемых в качестве стандарта длины.

Таким способом в теоретической физике появился термин «калибровка». Как видно, калибровочные симметрии связаны с инвариантностью относительно масштабных преобразований. На упрощённом уровне к ним относятся какие-то сохранения (симметрия) при некоторых масштабных преобразованиях, т. е. эта масштабная симметрия связана с масштабными изменениями.

Для физики значение этого вида симметрии заключается в том, что физические законы не должны зависеть от масштаба длины, выбранного в пространстве, и не должны изменять свой вид при замене этого масштаба на любой другой. Особое значение приобретает принцип калибровочной инвариантности, если преобразования проходят локально в неоднородном пространстве. Преобразование, применяемое в таком случае, Г. Вейль назвал масштабным, или калибровочным. Согласно теории калибровочной симметрии Вейля все физические законы инвариантны относительно произвольных (однородных и неоднородных) локальных калибровочных преобразований. По существу работы Вейля являлись развитием общего принципа относительности Эйнштейна, на основе которого произошло утверждение, что все физические законы в любой системе отсчета (инерциальной и неинерциальной) должны иметь одинаковый вид ([URL: mylektsii.ru/1-6468.html](http://mylektsii.ru/1-6468.html)).

Калибровочные симметрии носят абстрактный характер и непосредственно не фиксируются. Они связаны, как видно из исторической справки, с изменением отсчёта *уровня, масштаба или значения*

некоторой физической величины с сохраняющимися при этом теми или иными свойствами или законами поведения систем. Тем самым калибровочные симметрии связаны с какими-то законами сохранения, описываемыми с помощью определённой математической группы преобразований.

Адекватный математический язык для описания и формулировки принципов симметрии, а также извлечения следствий из них – это теория групп. Ещё в 1872 г. Ф. Клейном была выдвинута знаменитая «Эрлангенская программа», впервые чётко сформулировавшая математическую задачу систематического применения принципов симметрии к изучению конкретных объектов и во многом определившая характер дальнейших приложений теории групп, в том числе в физике.

С точки зрения развития физического знания мощная прогностическая роль принципа симметрии (и описывающих ту или иную симметрию математических групп) подтверждается в её самых различных областях. Более того, становление фундаментальных физических теорий связано с использованием принципов симметрии с соответствующими группами преобразований. Напомним, что законы классической механики инвариантны относительно преобразований Галилея, специальная теория относительности – относительно преобразований Лоренца и т. п.

*В современной теории элементарных частиц концепция симметрии законов относительно некоторых преобразований является ведущей* (данные преобразования по причине их математической сложности рассматриваться не будут).

С точки зрения математического формализма калибровочной симметрии в разработке теорий различных взаимодействий оказалось необходимым допустить существование векторных калибровочных полей, обмен квантами которых обуславливает взаимодействия частиц.

Возвращаясь к развитию теории сильного взаимодействия с помощью принципов калибровочной симметрии, обратим внимание на следующие моменты. Выяснилось, что для поддержания симметрии в описании этого взаимодействия оказалось необходимым введение особого так называемого цветового заряда, которым должны обладать кварки и глюоны.

Цветовой заряд – своеобразный аналог электрического заряда. Принципиальным отличием будет в данном случае то, что глюонное поле требует для своего создания три различных цветовых заряда: красный, синий и зелёный.

В общем случае теория сильного взаимодействия создавалась по той же схеме, что и теория слабого взаимодействия. Требование локальной калибровочной симметрии (т. е. инвариантности относительно изменений «цвета» в каждой точке пространства) приводит к необходимости введения восьми новых компенсирующих силовых полей. Частицами-переносчиками этих полей служат глюоны. Следовательно, должно быть восемь различных типов глюонов.

Испускание или поглощение глюона сопровождается изменением цвета кварка («игра цветов»). Например, красный кварк, теряя красно-антисиний глюон, превращается в синий, а зелёный кварк, поглощая сине-антизелёный глюон, превращается в синий ([URL: bibliotekar.ru/estestvoznanie-3/...копия](http://URL: bibliotekar.ru/estestvoznanie-3/...копия)).

С точки зрения квантовой хромодинамики (квантовой теории цвета) сильное взаимодействие есть проявление определённой симметрии: сохранение белого цвета всех адронов при изменении цвета их составных частей – кварков. Внутри, например, протона, три кварка постоянно обмениваются глюонами, изменяя свой цвет. Однако такие изменения носят не произвольный характер, а подчиняются правилу симметрии: в любой момент времени «суммарный» цвет трёх кварков должен представлять собой белый цвет, т. е. сумму «красный + зелёный + синий». Этот принцип распространяется и на мезоны, состоящие из пары кварк – антикварк [12].

Таким образом, принцип калибровочной симметрии применительно к сильному взаимодействию состоит в том, что поле кварка одного цвета можно заменить в каждой точке пространства-времени на линейную комбинацию полей кварков другого цвета, и это не должно приводить к наблюдаемым последствиям.

Подчеркнём, что квантовая хромодинамика (КХД), описывающая процессы сильных взаимодействий между нуклонами, строится по аналогии с КЭД, но пока в большой степени является полуэмпирической моделью.

Данное обстоятельство приводит к тому, что в настоящее время существует несколько вариантов Теорий Великого объединения, включающих описание сильного взаимодействия. Эмпирических данных, позволяющих сделать окончательный выбор, пока нет. Утверждение той или иной теории связывают со строительством новых мощных суперколлайдеров, которые смогут экспериментально проверить соответствующие следствия тех или иных моделей.

Таким образом, и в случае сильного взаимодействия, так же как и в случае электромагнитного и слабого, описание сильного взаимодействия возможно на основе калибровочных полей и на факте единства математического формализма. Такая общность исходных методов построения теорий позволила начать поиски объединения этих трёх взаимодействий в великое единое взаимодействие.

В настоящее время общая картина разделения единого великого взаимодействия на отдельные взаимодействия – сильное, слабое и электромагнитное – выглядит следующим образом. При энергиях порядка  $10^{15}$  ГэВ и выше существует единое взаимодействие. Когда энергия становится ниже  $10^{15}$  ГэВ, сильное и электрослабое взаимодействия отделяются друг от друга и представляются как различные фундаментальные взаимодействия. При дальнейшем уменьшении энергии ниже  $10^2$  ГэВ происходит отделение слабого и электромагнитного взаимодействий. В результате на масштабе энергий, характерных для физики макроскопических явлений, три рассматриваемых взаимодействия выглядят как не имеющие единой природы [7].

Убеждённость в единстве мира позволяет исследователям-теоретикам надеяться на создание единой теории мироздания, поэтому Теория Великого объединения ведёт к проблеме квантовой гравитации в силу непоколебимой веры в единство природы. Если все физические поля квантовые, то почему же гравитационное поле является исключением? В теории квантовой гравитации, как уже указывалось, введён квант гравитационного поля – гравитон.

Однако теория квантованности гравитационного поля опирается дополнительно на открытые в 1970-е гг. теории суперсимметрии и суперструн.

Согласно теории суперсимметрии должна существовать полная симметрия в описании вещества и поля, фермионов и бозонов. Отсюда следует, что между ними должно существовать полное физическое равноправие, они могут переходить друг в друга.

Концепция суперсимметрии, разработанная в 60 – 70-х гг. прошлого столетия, связала между собой бозоны и фермионы (квантовые частицы полей и частицы вещества). Фермионы считаются как бы «носителями материи», а бозоны – переносчиками между ними. Преобразования суперсимметрии переводят их друг в друга, а также связывают физику с геометрией.

По теории суперсимметрии, каждому фермиону должен соответствовать свой двойник – бозон, а каждому бозону – свой двойник – фермион [2]. Если более строго, то *суперсимметрия* (SUSY) – это симметрия между частицами с полуцелым спином (фермионы – кварки, лептоны) и частицами с целым спином (бозоны – фотоны, глюоны,  $W$ ,  $Z$ , ...). Идея суперсимметрии была предложена в теоретических работах Гольфанда и Лихтмана, Волкова и Акулова, а также Весса и Зумино. Вкратце она заключается в построении теорий, уравнения которых не изменялись бы при преобразовании полей с целым спином в поля с полуцелым спином и наоборот. Основные SUSY-партнёры перечислены в табл. 7.

Таблица 7

№ п/п	Частица	Спин	SUSY-партнёр	Спин
1	Кварк	1/2	Скварк	0
2	Лептон	1/2	Слептон	0
3	Нейтрино	1/2	Снейтрино	0
4	Фотон	1	Фотино	1/2
5	Глюон	1	Глюино	1/2
6	W-бозон	1	Вино	1/2
7	Z-бозон	1	Зино	1/2
8	Хиггс	0	Хиггсино	1/2
9	Гравитон	2	Гравитино	3/2

Тем самым в теории суперсимметрии поставлена задача устранения принципиальных различий между фермионами (носителями «материи») и бозонами (носителями взаимодействия). Решение этой задачи позволит избавиться от проблем расходимости и бесконечных величин, свидетельствующих о несовершенстве теории. При введении суперсимметричных двойников бесконечные вероятности могут сокращаться из-за компенсации вкладов частиц суперпартнёров [2].

Однако пока не найдено ни одной суперсимметричной частицы. Их поиск – важная задача физики высоких энергий. В ЦЕРН с осени 1995 г. велись эксперименты по обнаружению суперпартнеров  $W$ -бозонов, а в лаборатории имени Ферми – кварков и глюонов. Если какая-либо из SUSY-теорий верна, то в будущих экспериментах становится возможным обнаружить некоторые легчайшие суперсимметричные частицы. Поиски суперсимметричных частиц – одно из приоритетных направлений экспериментальных исследований на коллайдере LHC (URL: [nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e161.htm](http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e161.htm)...копия).

Гравитация на языке суперсимметрии получила название супергравитации. От обычной гравитации она отличается тем, что гравитон здесь уже не единственный переносчик гравитационного взаимодействия. Таких частиц целое семейство, в том числе и уже упоминавшаяся частица гравитино.

Благодаря идее суперсимметрии новую жизнь получила теория суперструн, уже рассмотренная ранее. Напомним, что создатели теории суперструн – физики М. Грин и Д. Шварц – отказались от уже привычного описания элементарных частиц как точечных объектов и описали их как некие протяженные объекты – струны, которые представляют собой отрезки со свободными концами или соединенными в виде восьмерки. Их размеры примерно  $10^{-33}$  см.

В этой теории понятие струны становится синонимом понятия микрочастицы, или локализованного в пространстве объекта. Все частицы представляют собой определенное возбужденное состояние струны. Колебательным движениям суперструн присущи характерные особенности, именуемые *модами*. По природе все суперструны тождественны, но в зависимости от моды колебания они воспринимаются

как разные частицы (рис. 31). Согласно струнной теории их можно рассматривать как элементарное начало всех физических вещей, как первоэлемент. Представляя собой вечно колеблющиеся частицы, ведущие себя и как волны, и как точечные объекты, суперструны могут разрешить, по мнению сторонников теории, философскую дилемму волны – частицы в концепции корпускулярно-волнового дуализма.

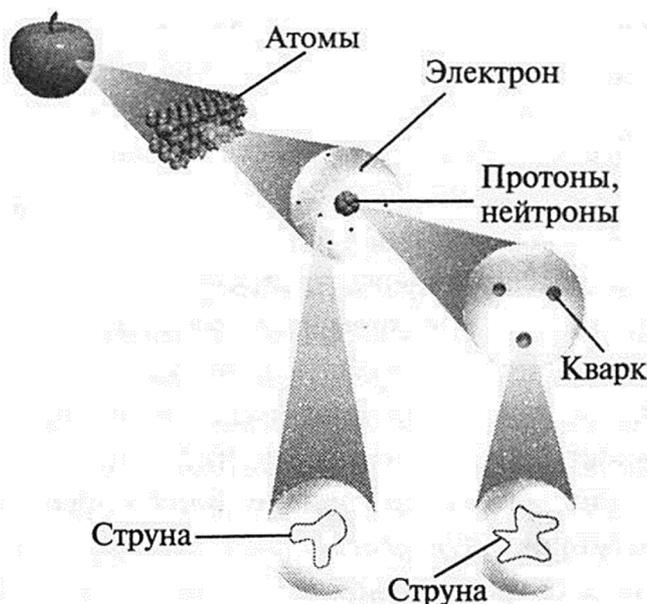


Рис. 31

В этом случае испускание и поглощение микрочастиц связано с объединением и разъединением струн. Эта теория является следствием объединения квантовой теории поля с общей теорией относительности.

Согласно теории суперсимметрии фундаментальный объект современной физики – квантованное суперструнное поле, возбуждениями которого являются суперструны, взаимодействующие друг с другом и вакуумом.

В этом случае теория освобождается от аномалий, свойственных теории супергравитации, – расходимостей и отрицательных вероятностей. Однако и суперструнный подход к объединению фундаментальных взаимодействий в настоящее время ещё далёк от экспериментальной проверки.

Теория суперструн ведёт к некоторым нетривиальным следствиям, например, существованию гипотетических частиц – тахионов, движущихся со скоростью, большей скорости света. Заметим, что тахионная гипотеза даёт теоретическую возможность предположения существования других видов фундаментальных взаимодействий. Вопрос о существовании в природе тахионов, по мнению В. С. Барашенкова, остаётся открытым, это предстоит ещё выяснить. Однако можно быть почти уверенным, что тахионов нет в макроскопических областях пространства, иначе возникли бы парадоксы с причинностью, нарушились бы законы сохранения энергии и импульса. Предположительно тахионы и связанные с ними явления могут происходить только внутри ультрамалых пространственно-временных интервалов, меньших  $10^{-17}$  см и  $10^{-27}$  с, т. е. там, где постановка вопроса прошлого и будущего теряет смысл.

Дополнительным достоинством суперструнной теории считается прогноз о существовании тёмной материи («теновом» мире), и тем самым становится понятным открытый астрономами факт, что галактики и скопления галактик содержат большую массу невидимого вещества, в десятки раз превосходящую массу самих галактик [7].

Таким образом, развитие современной физической картины мира в настоящий период связано с идеей объединения фундаментальных взаимодействий. Согласно идее объединения в природе существует только одно единое фундаментальное взаимодействие, проявляющее себя в конкретных ситуациях то как гравитационное, то как слабое, то как электромагнитное, то как сильное или как их некоторая комбинация. Подчеркнём, развитие Теории Великого объединения носило и носит гипотетико-дедуктивный характер, поскольку используется предсказательная мощь теоретической физики. Основная цель создания этой теории – унифицировать представления о силах взаимодействия между элементарными составляющими нашего мира. Справедливость теоретических предположений должна подтвердиться экспериментальным обнаружением гипотетически введённых физических объектов.

Основные идеи, положенные в основу современной теории структуры материи (элементарных частиц) и теории объединения фундаментальных взаимодействий, можно схематично представить на рис. 32 (URL: [spacegid.com/elementarnyie](http://spacegid.com/elementarnyie)).

Таким образом, современная физическая картина мира кардинально изменяет представления о материи и взаимодействии, а именно, границы между веществом, полем и вакуумом исчезают.

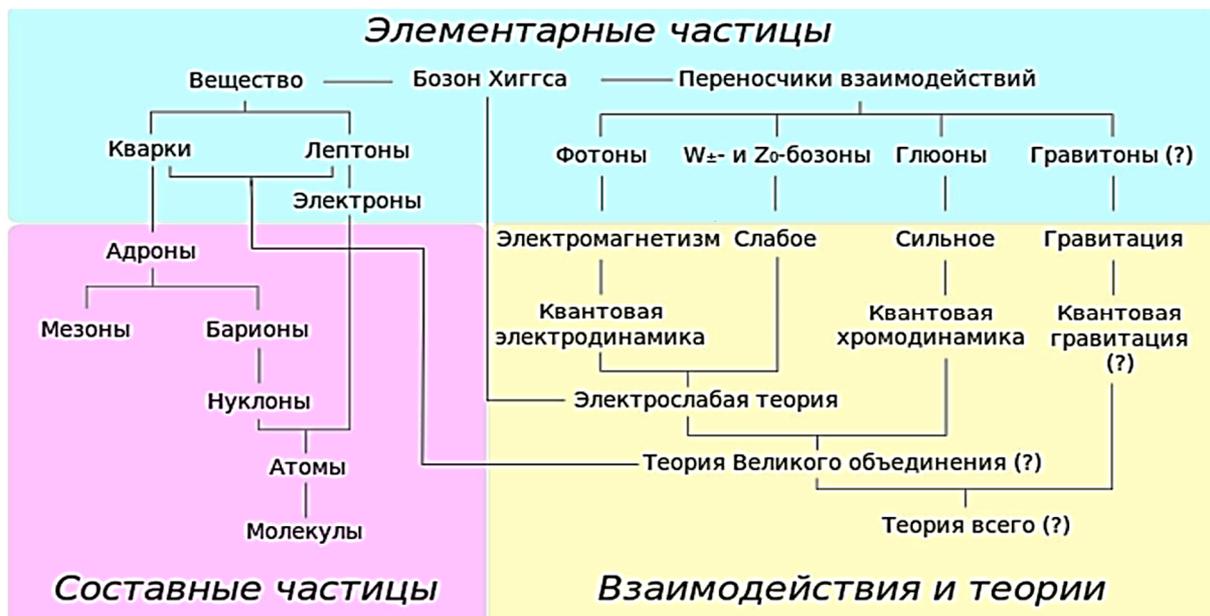


Рис. 32

В современной естественнонаучной картине мира вещество и поле взаимопревращаются друг в друга. На фундаментальном уровне все грани в природе оказываются условными, всё между собой взаимосвязано. В идеале современная физика пытается разработать единую теорию, единую физическую картину мира, в которую будут входить все частные теории со своими взаимодействиями. Образ универсального закона, властвующего как над миром в целом, так и над отдельными его частями, был и остаётся той притягательной и живой силой, которая направляет и поддерживает деятельность наших современников, отыскивающих ту «точку опоры», тот принцип, «развернув» который можно было бы получить все видимое многообразие бытия.

В интервью с одним из ведущих космологов и физиков-теоретиков настоящего времени С. Хокингом журналист задал ему вопрос: «В 1980 г. в лекции “Грядет ли конец теоретической физике?”, прочитанной Вами по случаю вступления в должность профессора, Вы рассуждали о том, что вскоре появится теория, которая объединит все фундаментальные взаимодействия, – своего рода единая формула мироздания. Так долго ли ждать ее появления?» Ответ С. Хокинга был следующим: «Поначалу я верил, что мы создадим всеобщую теорию уже к концу XX века. Однако, несмотря на все наши успехи, мы и теперь ещё так же далеки от цели. Мне пришлось умерить свои ожидания, но все-таки я и сейчас верю, что мы откроем эту формулу до конца столетия, а может быть, даже очень скоро. Я – оптимист. Только теперь говорю уже о конце XXI века» (URL: [physicexperts.ru/rexps-1131-1.html](http://physicexperts.ru/rexps-1131-1.html)).

### **Вопросы для контроля**

Что является причиной изменения и движения всего материального мира?

Какие фундаментальные физические взаимодействия вам известны?

Что такое Стандартная модель?

Каким образом осуществляется электромагнитное взаимодействие в рамках современной физической картины мира?

Как осуществляется слабое взаимодействие в рамках современной физической картины мира?

Каков механизм сильного взаимодействия в рамках современной физической картины мира?

С помощью чего происходит гравитационное взаимодействие по представлениям современной физической картины мира?

В чём суть Теории Великого объединения?

Что такое теория супергравитации?

Почему введены представления о хиггсоне, что представляет собой эта частица?

Что такое суперсимметрия, какие новые представления ввела эта теория?

### § 3. Взаимодействие и N-мерность пространства-времени в современной физической картине мира

...понятия пространства и времени  
взяты из нашего повседневного опыта и  
справедливы лишь для явлений большого  
масштаба. Нужно было бы заменить их дру-  
гими понятиями, играющими фундаменталь-  
ную роль в микропроцессах, ... мы должны  
стараться с большими или меньшими труд-  
ностями втиснуть микроскопические явления  
в рамки понятий пространства и времени,  
хотя нас всё время будет беспокоить чувство,  
что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу,  
которая ему не подходит.

*Луи де Бройль*

В основе любой физической картины мира наряду с физически-  
ми взглядами на материю лежат понятия о пространстве и времени.  
Поэтому революция в физике, как правило, предполагает качествен-  
ное изменение наших пространственно-временных представлений.  
Проблема пространства родилась вместе с самим понятием «про-  
странство» более 2,5 тыс. лет назад. Но несмотря на свой «почтен-  
ный» возраст, она так и не находит своего решения, хотя интерес к  
ней заметно растёт и особенно с успехами физики микромира и кос-  
мологии. Вопросы о понимании сущности пространства и времени в  
современной физической картине мира относятся к наиболее дискус-  
сионным, поскольку они напрямую затрагивают самые животрепе-  
щущие темы человеческого бытия о том мире, в котором живёт чело-  
век, а именно:

- было ли у мира начало?
- Был ли Большой взрыв?
- Мы живём в расширяющейся Вселенной?

- Является ли наша Вселенная единственной и уникальной или она всего лишь одна из вакуумных флуктуаций и соседствует с другими Вселенными?
- Пространство нашей Вселенной плоское (Евклидово) или имеет кривизну?
- Если геометрия нашей Вселенной обладает кривизной, то какова эта кривизна – Римана или Лобачевского?
- Трёхмерна или многомерна наша Вселенная?

При этом ответы на вопросы космологического характера оказались совершенно неожиданным образом связанными с вопросами об элементарных частицах и их взаимодействии, т. е. являются прямым продолжением развития Теории Великого объединения.

Даже краткий экскурс в эволюцию становления физических картин мира показывает, что развитие современной физики приводит к появлению очень диковинных конструкций и структур; фактически в физике продолжается бесшумная революция, которая сопровождается существенными изменениями пространственно-временных представлений.

Обратим внимание на чрезвычайно важный факт. Современная физика настолько обширна, что в её различных разделах существуют прямо противоположные утверждения о природе и статусе пространства и времени; различные научные школы работают в рамках самых разных альтернативных гипотез и моделей. В данном пособии затронут лишь один пласт научных исследований, напрямую связанный с представлениями о пространстве и времени в квантово-полевой картине мира, введёнными разработчиком специальной и общей теории относительности А. Эйнштейном.

Анализ становления электромагнитной картины мира показывает, что уже при её разработке Эйнштейном субстанциональная теория пространства и времени была заменена реляционной. Различные названия характеризуют принципиально разную интерпретацию сущностных сторон пространства и времени (рис. 33).

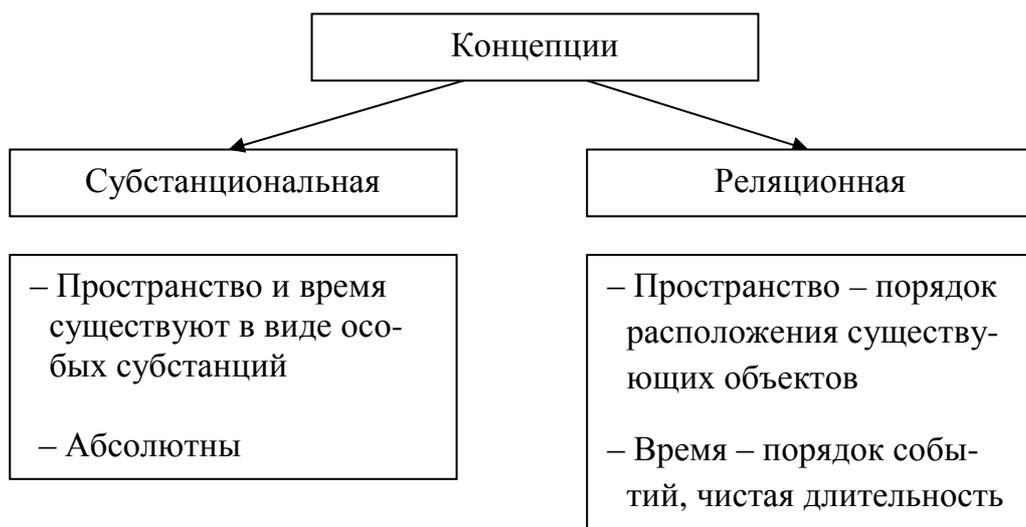


Рис. 33

Абсолютное пространство выступало в системе Ньютона в виде самостоятельно существующего пустого пространства. Пространство считалось бесконечным, плоским, однородным, изотропным, являясь тем самымместищем материи. Одновременно это теоретическое пространство, выступающее в качестве универсальной и абсолютной системы отсчета. Время аналогично никоим образом не зависит от материи.

В 1905 г. кризисное состояние физики было всем очевидно, что и привело Эйнштейна к созданию СТО, изменившей представления о пространстве и времени.

Пространство и время в специальной теории относительности трактуются с точки зрения реляционной концепции, т. е. они связаны с материей и характеризуют соответствующие отношения материальных объектов.

Пространство есть форма координации сосуществующих объектов, заключающаяся в том, что объекты расположены по отношению друг другу рядом, сбоку, внизу, вверху, внутри, сзади, спереди и т. д. и находятся тем самым в определенных пространственных упорядоченных отношениях. Порядок сосуществования этих объектов и их состояний образует структуру пространства.

Явления характеризуются длительностью существования и последовательностью этапов развития. Процессы совершаются либо одновременно, либо один раньше или позже другого. Таковы, например, вза-

имоотношения между днем и ночью, зимой и весной, летом и осенью. Порядок смены этих объектов и состояний образует структуру времени.

Пространство и время – это с философской точки зрения всеобщие формы существования материи, а с физической – всеобщие формы координации объектов. Всеобщность этих форм бытия заключается в том, что они – формы бытия всех предметов и процессов, которые были, есть и будут в бесконечном мире.

При этом, если классическая физика оперировала двумя независимыми многообразиями: трехмерным пространством и одномерным временем, то теория относительности оперирует единым четырехмерным континуумом, разделённость которого на пространство и время лишена абсолютного смысла. Эйнштейн подчёркивал: «Точно так же, как с ньютоновской точки зрения оказалось необходимым ввести постулаты *tempus est absolutum, spatium est absolutum* (“время абсолютно”, “пространство абсолютно” – лат.), так с точки зрения специальной теории относительности мы должны объявить *continuum spatii et temporis est absolutum* (“пространственно-временной континуум абсолютен” – лат.). В этом последнем утверждении *ab-solutum* означает не только “физически реальный”, но также “независимый по своим физическим свойствам, оказывающий физическое действие, но сам от физических условий не зависящий”» (Эйнштейн // Собрание научных трудов. Т. 2. М. : Наука, 1966. С. 43 – 44).

Поэтому рассмотрение физических событий должно относиться к единому четырехмерному пространственно-временному континууму:  $x, y, z, t$ . Позже, разрабатывая математический аппарат СТО, Г. Минковский углубил понимание неразрывности пространства и времени, показав, что в своем единстве они абсолютны, независимы от системы отсчета. Абсолютный интервал Минковского, объединяющий единое пространство-время, не зависит от системы отсчета и в любой из них имеет одно и то же значение.

Как известно, дальнейшее углубление содержания понятий пространства и времени произошло в рамках общей теории относительности.

Тем не менее и Ньютон, и Эйнштейн, как уже рассматривалось, осуществили научные революции в физике, не уступающие друг другу по своей значимости. Революционность и парадоксальность науч-

ных шагов И. Ньютона, и А. Эйнштейна можно охарактеризовать следующими замечаниями. Французский поэт Поль Валери (1871 – 1945) изобразил классическую революцию в механике таким образом: «Нужно было быть Ньютоном, чтобы заметить, что падает Луна, хоть всякий видит – не падает она» (URL: [physics-animations.com/newboard/messages...](http://physics-animations.com/newboard/messages...)).

Перефразируя поэта, профессор Калифорнийского университета Уильям Бёрке продолжил: «нужно было обладать гениальностью Эйнштейна, чтобы заметить, что Луна движется по «прямой», тогда как всякий видит совсем иное» (Там же).

Ответ на второе замечание следует из общей теории относительности Эйнштейна. Траектория движения небесных тел и есть траектория «свободного падения» в гравитационном поле, образованном системой небесных тел. Все тела в гравитационном поле двигаются по геодезическим линиям. Геодезическая линия – это «прямая», а вернее, энергетически наиболее выгодная «колея», направление которой задаёт конфигурация искривлённого пространства-времени. Пространство-время искривлено, и траектория движения тел отражает этот факт. Пространство и время оказываются связанными воедино в мировом четырехмерном континууме.

Таким образом, А. Эйнштейн сформулировал иные физические принципы, на которых базируется новая теория гравитации: это гипотезы о геометрической природе гравитации (т. е. гравитация сама есть пространство и время, как утверждает общая теория относительности), о взаимосвязи геометрии пространства-времени и материи.

Успех геометризации гравитации побудил многих ученых и в первую очередь самого Эйнштейна попытаться объединить электромагнитное и гравитационное поля в рамках общего геометрического формализма на базе общей теории относительности. Так было положено начало длительному процессу поисков геометризованной единой теории поля, которая была направлена на сведение физики к геометрии, создание геометродинамики.

В дальнейшем идея геометризации физики получила весьма активное развитие. Возникли даже такие концепции, согласно которым в мире нет ничего, кроме пустого искривлённого пространства. Физические объекты (материя, заряд, электромагнетизм и другие поля) при

таким пониманием оказываются только проявлением искривлённого пространства. В таком геометродинамическом подходе физика начала сводиться к геометрии.

То есть мир, возможно, построен из пустого пространства, наделённого структурой. Вещество и поля – лишь проявление пространства и времени. Сам Эйнштейн в последние годы своей научной деятельности после создания ОТО работал именно в этом ключе. Так, в речи, произнесенной в 1930 г. в Ноттингеме, Эйнштейн изложил свои представления о единой теории поля: «Мы приходим к странному выводу: нам начинает казаться, что первичную роль играет пространство, материя же должна быть получена из пространства, так сказать, на следующем этапе. Пространство поглощает материю» (Эйнштейн А. Пространство-время // Собрание научных трудов. Т. 2. М. : Наука, 1966. С. 241).

Фактически начинает возрождаться концепция субстанционального пространства. Другими словами, в разрабатываемой единой теории поля эта концепция вновь стала играть доминирующую роль.

Значительным вкладом в развитие данного направления служат работы В. Клиффорда и «Геометродинамика» Дж. Уилера. В. Клиффорд ставил вопрос о возможности проявления пространства и времени в виде материальных объектов, рассуждая, не окажется ли, что все или некоторые из причин, которые мы называем физическими, берут своё начало от геометрического строения нашего пространства.

Дж. Уилер, самый видный и последовательный сторонник идеи геометризации, разрабатывал программу построения «массы без массы», «заряда без заряда» и т. п. Его научная школа пыталась реализовать программу создания самих материальных объектов и их характеристик из свойств пространства-времени. Частица в этом случае рассматривается как очень сильное локальное искривление пространства-времени, приводящее к возникновению устьев – «ручек», т. е. входов и выходов своеобразных «кротовых нор». Заряды представляли как силовые линии, пронизывающие «ручки». Мир в таком понимании являлся многосвязным, с большим количеством «ручек». Однако, как писал сам автор, пока неясно, какое отношение имеют его геометрические модели массы и заряда к реальным частицам, описываемым квантовой физикой (Уилер Дж. Предвидение Эйнштейна. М., 1970).

Главная особенность данной программы заключается в использовании иных неевклидовых геометрий.

Здесь необходимо более подробно коснуться вопроса о виде геометрий, которыми может описываться пространство. Первой конкретно-научной концепцией пространства была Евклидова геометрия. До конца XIX века в науке сохранялось убеждение в том, что мировое пространство таково, каким мы его воспринимаем посредством своих органов чувств, т. е. оно такое, как описывается геометрической теорией Евклида – плоское. Но если мировое пространство действительно таково, то расстояния между его точками (размеры и формы тел) должны быть инвариантными, не зависящими от выбора системы отсчета, что не согласуется с новыми представлениями о пространстве-времени, введенными СТО и ОТО.

Другим основанием более подробного рассмотрения геометрии Евклида послужил самый проблемный постулат данной теории – постулат о том, что через точку вне прямой можно провести только одну прямую, параллельную данной.

Данный постулат вызывал многочисленные вопросы у целых поколений математиков. Остроту проблемы можно увидеть из письма Фаркаша Больяи своему сыну Яношу: «Ты не должен пытаться одолеть теорию параллельных линий; я знаю этот путь, я проделал его до конца, я прожил эту бесконечную ночь, и весь свет, всю радость моей жизни я там похоронил. Молю тебя, оставь в покое учение о параллельных линиях; оно лишит тебя покоя, досуга, оно погубит счастье твоей жизни. Этот глубокий бездонный мрак может поглотить тысячу таких гигантов, как Ньютон; ... эта ужасная, вечная рана в моей душе; да хранит тебя Бог от этого увлечения; ... Я готов был сделаться мучеником этой истины, чтобы только подарить человечеству геометрию, очищенную от этого пятна; я проделал гигантскую, тяжелейшую работу; я достиг гораздо большего, чем то, что было получено до меня, но совершенного удовлетворения я не получил.

Непостижимо, что в геометрии существует эта непобеждённая темнота, это вечный мрак... Дальше геркулесовы столбы; ни шагу дальше, иначе ты погибнешь» (URL: [imwerden.de/pdf/...lobachevsky\\_i\\_ego\\_geometriya\\_1955...](http://imwerden.de/pdf/...lobachevsky_i_ego_geometriya_1955...)).

Великий математик К. Гаусс (1777 – 1855) первый признал, что постулат является аксиомой и, следовательно, его можно заменить другими аксиомами, построив новую геометрию. Но сам он на это не осмелился, не решившись опубликовать свои идеи, понимая всю глубину переворота в научных представлениях. Он писал: «Вероятно, я ещё не скоро смогу отработать свои пространственные представления. Возможно даже, что я не решусь на это во всю жизнь, потому что боюсь критики» (URL: [elementy.ru](http://elementy.ru) Библиотека Апология математики).

И лишь Н. И. Лобачевский в России, Б. Риман в Германии и Я. Больяи в Венгрии построили новые геометрии, отбросив пятый постулат и изменив его. Однако их научный подвиг современниками оценён не был. Работы Лобачевского в этом направлении подвергались насмешкам; на похоронах не было ни одного слова сказано о главном достижении его жизни – первой неевклидовой геометрии. На эпитафии Я. Больяи были строчки «Его жизнь прошла без всякой пользы» [6].

Постулат о параллельности прямых связан с положением о значении суммы углов треугольника. В геометрии Евклида сумма углов треугольника равна  $180^\circ$  (рис. 34, *а*), у Римана она больше (рис. 34, *б*), у Лобачевского – меньше (рис. 34, *в*).

Евклидова геометрия реализуется на плоскости, Римана – на поверхности сферы, на которой прямая линия выглядит как отрезок дуги большого круга, центр которого совпадает с центром сферы.

Геометрия Лобачевского осуществляется на так называемой псевдосфере. Так как пространство имеет три измерения, то для каждой геометрии вводится понятие кривизны пространства. В Евклидовой геометрии кривизна нулевая, у Римана – положительная, у Лобачевского – Больяи – отрицательная.

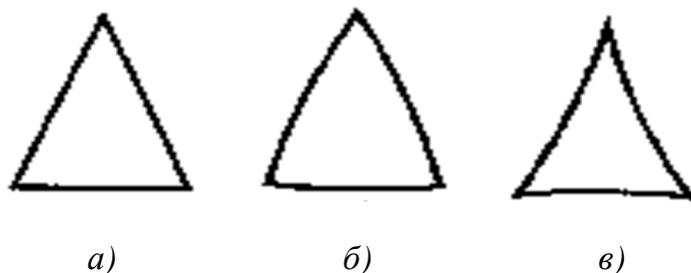


Рис. 34

Риман впоследствии показал единство и непротиворечивость всех неевклидовых геометрий, обосновав, что геометрия Евклида – их частный случай. Им был сконструирован целый класс логически непротиворечивых геометрий, в силу чего возник очень серьезный вопрос: а какова на самом деле геометрия окружающего нас мира?

Этот вопрос был уже не математическим, а физическим. Если геометрий как математических структур может быть построено бесконечное множество, то какая из них реализуется в природе? На такой вопрос должен был дать ответ только опыт. Поэтому изучение геометрии по существу становится исследованием свойств материи и её движения.

В космологическом масштабе идеи неевклидовых геометрий ставят вопрос о кривизне нашей Вселенной, что, в свою очередь, привело к возникновению в космологии очень важной проблемы: конечна или бесконечна Вселенная? В классической космологии подобного вопроса не возникало – евклидовость пространства и времени однозначно обуславливала её бесконечность. Однако в релятивистской космологии возможен и вариант конечной Вселенной – это соответствует пространству положительной кривизны (Риманова геометрия, поверхность сферы).

Уже в 1922 г. советским физиком А. Фридманом была сформулирована *концепция расширяющейся Вселенной* (на основе решения уравнений Эйнштейна). Но при расширяющейся Вселенной, если попытаться вернуться к начальным фазам расширения, придётся допустить сверхплотное «сингулярное состояние», когда всё вещество Вселенной было сосредоточено именно в этой точке. Вскоре была разработана модель расширяющейся Вселенной на основе теории Большого взрыва.

Утверждение модели Большого взрыва связано с работами Эдвина Пауэлла Хаббла, обнаружившего так называемое красное смещение, свидетельствующее о разбегании галактик, расширении пространства Вселенной. Дополнительным фактором справедливости Большого взрыва можно назвать обнаружение реликтового излуче-

ния. Таким образом, абсолютное большинство учёных признают экспериментальное подтверждение модели Большого взрыва и расширяющейся Вселенной. Эта теория более или менее прочно утвердилась в естествознании в 70-е гг. XX столетия и продолжает быть наиболее признаваемой и в настоящее время.

Радикальное обновление представлений об устройстве мироздания, основанное на следствиях искривлённости пространства-времени, заключается в следующем. Вселенная нестационарна, она имела начало во времени, следовательно, исторична и эволюционирует во времени. Эту эволюцию протяженностью в 12 – 15 млрд лет (по некоторым источникам 20 млрд лет) в принципе можно реконструировать.

Следствием данной модели стало признание положительной кривизны пространства-времени нашей Вселенной.

*Но каковы же метрические и топологические свойства пространственно-временной формы микромира?*

Именно квантовая механика чрезвычайно остро поставила необычный вопрос о многомерности пространства в области макромира, чем и занимались многочисленные предшественники (Кант, Ж. Лагранж, Ж. Даламбер, Б. Риман, К. Ф. Цельнер, Г. Нордстроп и др.).

Как считается, рождение многомерного подхода связано с публикацией статьи Т. Калуцы. В 1921 г. малоизвестный польский физик Теодор Калуца, работая над проблемой создания единой теории физических взаимодействий, пришёл к выводу, что электромагнетизм – своего рода «гравитация», но не обычная, а гравитация в новом, в ненаблюдаемом измерении пространства. То что мы называем электромагнетизмом, всего лишь часть гравитационного поля, действующая в пятом, дополнительном измерении пространства, которое мы не в состоянии наглядно представить. В дальнейшем им было показано, что особенности движения электрически заряженных частиц в электрических и магнитных полях также объясняются на основе этой идеи. Если принять эту точку зрения, то вообще нет никаких сил, существует только геометрия пятимерного искривлённого пространства. Все силы природы, подобно гравитации, рассматриваются как проявление

искривлённости структуры пространства-времени, т. е. выступают как проявление скрытой геометрии. Пятое измерение закручено в кольцо – это движение по кругу (связано с вращением пси-функции). В окончательном варианте эта теория приобрела название теории Калуцы – Клейна. В этой модели каждый вид взаимодействия представляет разные стороны единой геометрической сущности – десятимерной струны. Шесть дополнительных измерений удалось «скрутить», получив гипершар супермалого размера:  $r = 10^{-33}$  см.

Дальнейшие работы в этом направлении привели к необходимости расширения представлений о пространстве до существования некоторого суперпространства, свойства которого исходят из уже рассмотренной ранее теории суперсимметрии. Именно эта теория содержит единый математический формализм, описывающий и переносчиков всех фундаментальных сил, и вещество (т. е. и бозоны, и фермионы как единый мультиплет возможных физических состояний).

Многомерные модели показывают, что фундаментальные взаимодействия, исключая гравитацию, можно понимать как проявление дополнительных размерностей искривлённого пространства. Так, для описания электромагнитного взаимодействия необходимо введение пятого измерения, а для электрослабого – двух дополнительных координат. Для сильного потребовалось введение восьмимерного пространства.

В рамках многомерия открывался принципиально новый путь объединения сильных и электрослабых взаимодействий. Появилась возможность объяснения существования трёх поколений частиц – это три разных способа понижения размерности путём «склейки» [6].

Но оказалось, что в число всех этих частиц не входят бозоны – переносчики электрослабого взаимодействия – и не включаются все кварки и лептоны. Для решения этой проблемы на основе принципа сохранения симметрии пришлось ввести гипотезу о существовании преполей и более элементарных форм материи, чем известные элементарные частицы, – пречастич – *преонов*. Каждый преон несёт по одному из фундаментальных зарядов: три цветовых, два по аромату и

три, соответствующие различным семействам [6, с. 198, 200 – 201]. Не исключено, что из них состоят и кварки ([URL: dic.academic.ru](http://dic.academic.ru)).

Такой ситуации отвечает *супергравитация уже в одиннадцати измерениях, которая эквивалентна четырехмерной расширенной супергравитации, содержащей расширенную внутреннюю симметрию для восьми электроядерных зарядов*. Эмпирическая проверка такого плана пока невозможна, так как она может осуществляться при энергии порядка  $10^{19}$  ГэВ, а это уже масштабы космологической энергии. Таким образом, мы вновь переходим с уровня элементарных частиц на уровень Вселенной.

Итак, развитие теории гравитации и теории объединения фундаментальных взаимодействий предполагает существование пространств с бóльшим числом измерений, чем обычное трёхмерное пространство. Предполагается, что остальные измерения скомпактифицированы, свёрнуты. Свернуть многомерные пространства можно различными способами, причём, чем больше число измерений, тем больше вариантов свёртывания, тем больше возможных топологий.

Дальнейшее развитие физики и стремление использовать идею многомерности пространства-времени вновь выводит на концепцию суперструн.

В 1968 г. физиком-теоретиком Г. Венециано было выявлено, что математическая формула, придуманная Л. Эйлером в 1730 г. в чисто математических целях – так называемая бета-функция Эйлера, способна описать все многочисленные свойства частиц, участвующих в сильном ядерном взаимодействии. Она позволяла дать математическое описание многим огромным массивам данных, накопленным при изучении особенностей сильного взаимодействия. Однако никто не мог объяснить причину успешного функционирования бета-функции. Успешность применения формулы также нуждалась в объяснении. Физический смысл, скрывавшийся за формулой Эйлера, выявили Й. Намбу, Х. Нильсен и Л. Сасскинд. Эти физики показали, что сильное взаимодействие, описываемое с помощью функции Эйлера, возможно только в том случае, если сами элементарные частицы рассматривать

в виде маленьких колеблющихся одномерных струн. Если длину струн принять настолько малой, что приближенно их можно по-прежнему рассматривать как точечные частицы, то их свойства не будут противоречить уже накопленным результатам экспериментальных наблюдений ([URL: scienceview.ru/node/26...копия](http://scienceview.ru/node/26...)).

На первоначальном этапе развития теории струн было обнаружено, что при некоторых вычислениях приходится иметь дело с отрицательными вероятностями. Избавиться от них можно, если допустить для струн возможность колебаться в дополнительных пространственных направлениях.

Теория квантовых струн непротиворечиво работает лишь при допущении, что в микромире существуют как минимум шесть дополнительных измерений, которые в сумме с четырьмя «старыми» измерениями дают десятимерную картину мира. При этом шесть дополнительных измерений топологически замкнуты.

Дальнейшие теоретические разработки показали, что существует множество способов свернуть многомерные пространства и сделать их невидимыми для человеческого глаза. Чтобы получить из десятимерного четырехмерное пространство, «лишние» измерения можно скрутить в сферы, баранки или в так называемое пространство Калаби-Яу. Теория струн не объясняет, как правильно и каким способом надо скручивать дополнительные измерения. Но каждый из вариантов скручивания десятимерной теории порождает свой четырехмерный мир. Этот мир может быть похож на наш, но может и отличаться. Согласно современным воззрениям число возможных вариантов скручивания измерений огромно – как минимум 10<sup>100</sup>. Но ученые не исключают, что таких вариантов вообще может быть бесконечно много.

И согласно теории квантовых струн именно дополнительные измерения на микроуровне имеют решающее значение для возникновения и развития мироздания. Соответственно стандартные обычные для нас четыре измерения (трехмерное пространство плюс время) – это лишь внешняя форма проявления мира. Глубинные же процессы формируются за счёт дополнительных измерений ([URL: scienceview.ru/node/26...копия](http://scienceview.ru/node/26...)).

В общем случае некоторые авторы размерность пространства-времени представляют как изображено на рис. 35.

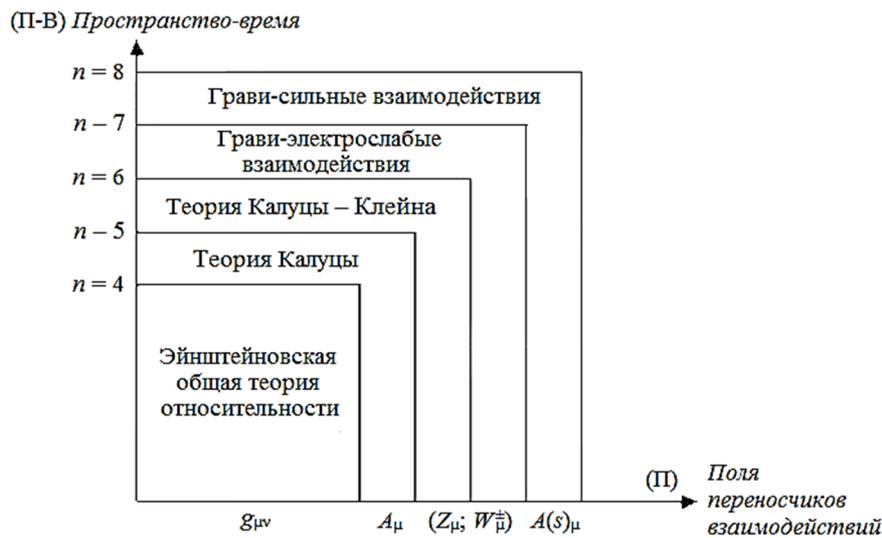


Рис. 35

Однако струнная теория вызвала и продолжает вызывать острейшие научные дискуссии. Наряду с её абсолютным признанием есть и многочисленные противники. Сторонник струнной теории Б. Грин писал: «Когда Вы знакомитесь с теорией струн и осознаёте, что почти все достижения физики ... можно получить, и притом весьма изящным образом, из столь простой отправной точки, Вы понимаете, что перед Вами невероятно мощная теория, единственная в своём роде» [12].

Достаточно серьёзные проблемы струнной теории будут обязательно решены, как считают её сторонники. В одной из телевизионных передач, посвященной теории струн, доктор физико-математических наук Дмитрий Гальцов отметил, что теория растёт и развивается. «Она становится все проще и красивее. Это ещё не теория, пока это строительная площадка. Но на этой площадке уже видны контуры здания» ([URL: myrt.ru/interestingly/203-teorija-strun.html](http://myrt.ru/interestingly/203-teorija-strun.html)).

Гальцов выразил уверенность, что в будущем теория струн будет одной из основных физических теорий, аргументируя это тем, что на сегодняшний день реальной альтернативы ей нет. В частности, теория струн объясняет проблемы черных дыр, другие теории этого сделать не могут.

Однако такие оптимистичные прогнозы, как уже указывалось, разделяют далеко не все физики как XX столетия, в период её создания, так и современные учёные. Один из разработчиков электрослабого взаимодействия Глэшоу обращал внимание на то, что «теория струн столь амбициозна, что она может быть либо целиком истинна, либо целиком ложна... Проблема состоит в том, что её математика настолько нова и сложна, что неизвестно, сколько десятилетий потребуется на её окончательную разработку» [6, с. 198]. Он же задавался вопросом «...должны ли специалисты по теории струн получать зарплату от физических факультетов, и позволительно ли им совращать умы впечатлительных студентов, предупреждая, что теория струн подрывает основы науки...» [Там же, с. 198].

Р. Пенроуз: «Я отнюдь не убеждён в высокой физической ценности схемы... Для её бескомпромиссных приверженцев теория струн... – это подлинная физика XXI века, она представляет собой революцию в физическом мышлении, сравнимую с... теми, которые совершили в своё время ОТО и квантовая механика. Для её крайних противников она до сих пор не достигла в физическом отношении абсолютно ничего. И она имеет мало шансов сыграть сколько-нибудь существенную роль в физике будущего» [Там же, с. 220]. Академик РАН В. Рубаков, прогнозируя будущее теории струн, также высказывает определённые сомнения. «Конечно, в глубине души все, кто этим занимается, надеются, что появятся экспериментально подтверждаемые и подтверждённые результаты, которые будут прямо свидетельствовать в пользу этих конструкций. Но есть и такой шанс, что эксперименты обозримого будущего ничего нам прямо не скажут» ([URL: invertedtree.ucoz.ru/publ/raznoe...копия](http://invertedtree.ucoz.ru/publ/raznoe...копия)).

Другими словами, самым существенным недостатком теории суперструн считается отсутствие экспериментальных подтверждений. Теория представляет гигантскую теоретико-математическую экстраполяцию, поскольку пока не удаётся получить количественные предсказания, позволяющие осуществить решающую проверку теории.

Что касается новой трактовки времени, то те свойства времени, которые были установлены теорией относительности и теорией квантовой гравитации, никак не вписываются в понимание времени только как классического четвёртого измерения. Эти теории послужили основанием для новых допущений о времени.

Так, неклассические теории гравитации допускают локальную обратимость времени, т. е. одной из важнейших проблем пространства и времени является вопрос об односторонней направленности течения времени.

В ньютоновской концепции односторонняя направленность времени считалась очевидной и не требовала обоснования. В отличие от пространства, в каждую точку которого можно снова и снова возвращаться, время необратимо и одномерно. Оно течёт только из прошлого через настоящее к будущему. Нельзя возвратиться назад в какую-либо точку времени, как нельзя и перескочить через какой-либо временной промежуток в будущее. Существование однонаправленности времени («стрелы времени») не могло быть доказано в рамках классической механики.

У Лейбница необратимость течения времени связывалась с однозначной направленностью цепи причин и следствий, т. е. необратимость времени и его направленность определяются причинной связью, так как причина всегда предшествует следствию. Однако понятие предшествования уже предполагает время.

Современная наука конкретизировала и развила это обоснование, связав его с такой интегральной характеристикой материальных процессов, как развитие, что является принципиально необратимым. Но данное объяснение другого – философского – уровня.

Для характеристики однонаправленности и необратимости времени английский астрофизик А. Эддингтон (1882 – 1944) в 1928 г. ввёл понятие «стрелы времени». Оно применимо к описанию таких природных процессов, которые протекают спонтанно, самопроизвольно и только в одном направлении. При описании этих процессов в современной физической картине мира принято различать термодинамическую и космологическую стрелы времени.

*Термодинамическая стрела времени* характеризует то направление времени, в котором энтропия (особая физическая величина) замкнутых систем возрастает. Максимально возможное значение энтропии достигается в тепловом равновесии.

*Космологическая стрела времени* определяет направление эволюции нестационарной, неравновесной Вселенной. Согласно современной космологической модели Фридмана – Хаббла Вселенная расширя-

ется. По предположению американского физика Р. Дикке, Вселенная расширяется не в пустоту, а в среду, уже заполненную элементарными частицами. Они вступают во взаимодействие с нашей Вселенной и в процессе ее расширения оказываются в ней. Так происходит, по мнению Дикке, пополнение нашей Вселенной новой материей [14].

Необратимость времени не была осмыслена и физически обоснована и в теории относительности А. Эйнштейна. В том виде, в каком время входит в принципы теории относительности, оно не содержит различий между прошлым и будущим. Возможность математическим путём объяснить существование необратимости времени появилась лишь во второй половине XX века с появлением синергетики и физики неравновесных процессов.

Одно из направлений в новой трактовке понятия времени связано с изменением представлений о прерывности и непрерывности пространства и времени. Квантовая физика поставила совершенно необычный вопрос о возможности дробимости, делимости пространства и времени, существования кванта пространства-времени. Проблема реальной делимости пространства и времени появилась в связи с открытием в квантовой механике соотношения неопределенностей Гейзенберга (начало XX века), согласно которому для абсолютно точной локализации микрочастицы необходимы бесконечно большие импульсы, что в физическом аспекте задача невыполнимая. Более того, современная физика элементарных частиц доказывает, что при очень сильных воздействиях происходит множественное рождение частиц, что совершенно исключает возможность точного измерения значения напряженности поля в каждой точке [Там же].

В дальнейшем это послужило разработке гипотезы о квантовании пространства и времени, т. е. о существовании наименьших длин и длительностей. В настоящее время учёные предполагают существование кванта пространства (фундаментальная длина  $L$ ) и кванта времени, равного отношению  $L/c$ , ограничивающего точность определения временных интервалов.

Таким образом, современная физика установила, что невозможно реально осуществить разделение пространства и времени на точки, поскольку существует их единство в виде пространственно-временного континуума. Геометрические понятия точки, кривой, поверхности яв-

ляются абстракциями, отражающими пространственные свойства материальных объектов лишь приблизительно, это идеализированные модели. Справедливо это и в отношении моментов времени [14].

Выводы квантовой теории, касающиеся свойств времени, имеют пока по большей части предварительный, ориентировочный характер. Например, до сих пор нет строгой количественной формулировки того, что понимать под причинностью в квантовых явлениях. А с этим в физике связан целый комплекс сложных и глубоких проблем, которые еще ждут своего решения. Одна из них связана с тем, что свет может попадать по «ручке» в удаленные друг от друга области пространства за сроки, с точки зрения пространства «ручки» несовместимые с максимально возможной фундаментальной константой – скоростью распространения света. На основе этой идеи высказывается предположение о возможности создания машины времени (К. Торн, И. Д. Новиков и др.), позволяющей путешествовать в прошлое [Там же].

Это вновь ставит вопрос о нарушении причинно-следственных связей. Однако топологические «ручки» могут связывать эти вселенные друг с другом, что «снимает» в определенной степени остроту проблемы глобальной причинности, сводя её к относительно локальным представлениям о причинности. И здесь возможны, видимо, случаи локального обращения времени, связанные с обращением временного порядка событий, происходящих в некоторых системах отсчета [Там же].

Дополнительно введена гипотеза существования сильных флуктуаций метрики пространства Вселенной. Флуктуации, в свою очередь, приводят к разбиению Вселенной на большие области, находящиеся в различных состояниях. Свойства пространства-времени в этих областях будут различными.

Тем не менее представления о пространстве и времени, сформулированные в теории относительности, на сегодняшний день наиболее последовательны.

Все свойства пространства и времени можно разделить на две большие группы. К всеобщим (философского уровня) относятся такие пространственно-временные характеристики, которые проявляются на всех известных структурных уровнях материи, тогда как специфические свойства – лишь на отдельных структурных уровнях.

К всеобщим свойствам пространства и времени относятся:

- объективность и независимость от человеческого сознания;
- абсолютность в смысле того, что они являются универсальными формами бытия материи, проявляющимися на всех структурных уровнях её существования;
- неразрывная связь друг с другом и с движущейся материей;
- единство прерывности и непрерывности в их структуре – наличие отдельных тел, фиксированных в пространстве при отсутствии каких-либо «разрывов» в самом пространстве;
- количественная и качественная бесконечность, неотделимая от структурной бесконечности материи – невозможность найти место, где отсутствовали бы пространство и время, а также неисчерпаемость их свойств.

Пространство и время наряду с всеобщими свойствами обладают специфическими свойствами, присущими только пространству или только времени.

К специфическим свойствам пространства относятся:

- протяжённость – рядоположенность, существование и связь различных элементов, возможность прибавить (уменьшить) некоторый следующий элемент;
- связность и непрерывность – проявляются в характере перемещений тел от точки к точке, в распространении воздействий через различные материальные поля в виде близкодействия в передаче энергии;
- трёхмерность;
- единство метрических и топологических свойств. Метрические свойства проявляются в протяжённости и характере связи элементов тел. Топологические свойства характеризуют связность, трёхмерность, непрерывность, неоднородность, бесконечность пространства, его единство со временем и движением.

Специфические свойства времени:

- выступает как последовательность сменяющих друг друга моментов или состояний. Аналогично протяжённости пространства длительность относится к метрическим свойствам;
- длительность. Длительность бытия объектов во времени выступает как единство прерывного и непрерывного;

- необратимость – однонаправленное изменение от прошлого к будущему.

Резюме: физика не стоит на месте, особенно квантовая. Это одна из молодых областей знания, поэтому многие открытия ещё впереди. Есть все основания полагать, что построение новой, более совершенной теории элементарных частиц потребует не меньшей революции в представлениях о времени и пространстве, чем та, которую произвели в свое время теория относительности и квантовая теория.

### **Вопросы для контроля**

Как называется концепция пространства-времени, сменившая субстанциональную концепцию классической механики?

В чём суть новой концепции пространства-времени?

На основе какой идеи был введён пространственно-временной континуум Минковского?

По какой причине начала происходить геометризация физики?

Сколько геометрических программ в принципе может описывать физический мир, кто является разработчиками этих программ?

Каковы основные положения неевклидовых геометрий?

Какова геометрия нашей Вселенной? На каких экспериментальных космологических доказательствах она основывается?

К каким мировоззренческим следствиям приводит модель кривизны пространства-времени мироздания?

Каким образом возникла теория многомерности нашего пространства?

Какова мерность пространства по теории Калуцы?

Каковы мерность пространства по теории Калуцы – Клейна и топология дополнительных координат?

К каким новым представлениям о пространстве и времени приводит струнная теория?

Каковы проблемы струнной теории?

Что послужило причиной введения гипотезы о делимости и существовании кванта пространства-времени?

На основе каких научных парадигм развивается современная теория пространства-времени?

#### **§ 4. Детерминизм в современной физической картине мира. Вероятностный тип мышления как ведущий стиль современного мышления**

Новая научная истина побеждает не потому, что убедила противников и заставила их прозреть, а скорее, потому, что её противники, в конце концов, умирают и вырастает знакомое с ней поколение.

*М. Планк*

Одной из наиболее актуальных проблем современного естествознания, в частности физики (любой физической картины мира), остаётся вопрос о природе причинности и причинных отношениях в мире, или концепция детерминизма. Детерминизм (от лат. *determino* – определяю) – философское учение об объективной закономерной взаимосвязи и взаимообусловленности явлений материального и духовного мира. Ядром детерминизма служит положение о существовании причинности, т. е. такой связи явлений, в которой одно явление (причина) при вполне определённых условиях с необходимостью порождает, производит другое явление (следствие).

Напомним, что для естествознания *детерминизм* – это учение о причинной материальной обусловленности природных явлений. Сущность детерминизма в том, что всё существующее в мире и природе возникает и уничтожается закономерно в результате действия определённых причин. Принцип детерминизма всегда служил и служит руководящим началом во всех областях научного знания, являясь эффективным орудием постижения истины.

В современной физике идея детерминизма выражается в признании существования объективных физических закономерностей и находит свое полное и общее отражение в фундаментальных физических теориях. В ядре фундаментальных физических теорий лежат законы, представляющие собой математическую форму записи именно причинно-следственных связей описываемого фрагмента природы. С их помощью на основе соответствующего математического аппарата получают многочисленные следствия, законы более мелкого уровня или объясняются опытные законы.

Изменение взглядов современной физики на окружающую природу касается и содержания принципа детерминизма. В этом отношении вполне оправдался прогноз, который дал П. Дирак: «Разумеется, возврату к детерминизму классической физики уже не будет; эволюция не пойдёт вспять. Наверняка появятся совершенно необычные представления, о которых мы даже не догадываемся. Они уведут нас ещё дальше от классических взглядов...» ([URL: libed.ru/knigi-nauka/630721-6-...копия](http://libed.ru/knigi-nauka/630721-6-...копия)).

Такие новые необычные представления уже в квантовой физике касались двух направлений: места и роли наблюдателя при изучении природы и утверждения значимости и фундаментальности вероятностных представлений.

Как уже указывалось, в классической механике в рамках механистического детерминизма вероятность связывалась с неполнотой знания, т. е. она выступала в качестве несовершенства процедуры познания, а не как объективная характеристика самого мира, самих природных объектов и явлений. В механической картине мира господствовали однозначные жёсткие причинно-следственные связи. Законы Ньютона позволяли описать механическое движение любых тел или частей тел относительно друг друга с какой угодно точностью. Эти законы исключали случайности, господствовала только необходимость. То есть естествоиспытатели были убеждены, что всё в мире предопределено, и если что-то в будущем туманно, то только потому, что неизвестны все факторы, влияющие на изучаемые процессы. Стоит их узнать, и можно предсказать будущее во всех деталях.

Позже другие фундаментальные теории динамического характера исходили из той же идеи однозначного прогноза поведения физического объекта (механика сплошных сред, термодинамика, электродинамика Максвелла, общая теория относительности). Несомненно, что механистический лапласовский детерминизм с определённой степенью идеализации отражает физическую реальность и в этом отношении его нельзя считать совершенно ложным. Но абсолютизация его как единственного точного отображения действительности неправомерна.

Поэтому уже в последующий период – период становления электромагнитной картины мира – вероятность уже не отождествлялась с незнанием, о чём свидетельствует включение в методы научного исследования и описания природы статистических законов, основанных на вероятностных представлениях.

Вхождение вероятностных методов в квантовую физику стало новым и дополнительным стимулом для изменения понимания детерминизма, а также представлений о сути и содержании самих вероятностей. Современная физика значительно и кардинально углубила и переосмыслила вероятностные представления; в постнеклассический период развития физики роль вероятности возросла до фундаментального принципа. Были кардинально переосмыслены роль и значение динамических и статистических законов.

Длительное время динамические законы считались основным, первичным типом отображения физических закономерностей, а статистические законы рассматривались в значительной мере как следствие ограниченности наших способностей к познанию. *Динамический закон* – это физический закон, отображающий объективную закономерность в форме однозначной связи физических величин, выражаемых количественно. Необходимость отказа от классического детерминизма в физике стала очевидной после того, как выяснилось, что динамические законы не универсальны и не единственны. Более глубокими законами природы являются не динамические, а *статистические законы*, открытые во второй половине XIX века, особенно после того, как выяснился статистический характер законов микромира.

Уже при описании поведения множества молекул газа (в молекулярно-кинетической теории идеального газа) при всей случайности движения одной отдельной молекулы прослеживаются вполне объективные закономерности, которые были выявлены Максвеллом. Им были введены представления о закономерностях особого типа, в которых связи между величинами, входящими в теорию, неоднозначны, что при рассмотрении систем, состоящих из огромного числа частиц, нужно ставить задачу совсем иначе, чем это делалось в механике

Ньютона. Для этого Максвелл ввёл в физику понятие вероятности, выработанное ранее математиками при анализе случайных явлений, в частности азартных игр.

Введение случайных событий в описание поведения системы, состоящей из множества физических однородных объектов, было совершенно обоснованно и правомерно. Многочисленные физические опыты показали, что в принципе невозможно не только проследить изменения импульса или положения одной молекулы на протяжении большого интервала времени, но и точно определить импульсы и координаты всех молекул газа в данный момент времени. Максвеллу удалось решить эту задачу, введя статистический закон распределения молекул по скоростям. Но главная заслуга Максвелла состояла даже не в этом, а в самой постановке принципиально новой проблемы. Им отчётливо показано, что случайное в данных макроскопических условиях поведение отдельных молекул подчинено определённому вероятностному (или статистическому) закону. После данного Максвеллом толчка молекулярно-кинетическая теория (или статистическая механика, как стали называть её в дальнейшем) начала стремительно развиваться.

Статистические законы и теории имеют следующие характерные черты:

1. В статистических теориях любое состояние представляет собой вероятностную характеристику системы. Это означает, что состояние в статистических теориях определяется не значениями физических величин, а их статистическими (вероятностными) распределениями. Это принципиально иная характеристика состояния, чем в динамических теориях, где состояние задается значениями самих физических величин.

2. В статистических теориях по известному начальному состоянию в качестве результата однозначно определяются не сами значения физических величин, а вероятности этих значений внутри заданных интервалов. Тем самым однозначно определяются средние значения физических величин, которые в статистических теориях играют ту же роль, что и сами физические величины в динамических теориях. Нахождение средних значений физических величин – главная задача статистических теорий [7].

Статистическими теориями являются статистическая теория неравновесных процессов, электронная теория, квантовая электродинамика.

Необходимо обратить внимание, что смена динамических теорий статистическими не означает, что старые динамические теории полностью отбрасываются и считаются неверными. Просто уточняются границы применимости этих закономерностей. Практическая ценность динамических закономерностей в определенных границах несколько не умалется фактом создания новых статистических теорий.

Как выяснилось далее, преимущество статистических теорий заключается в том, что они распространяются на более широкий круг явлений, недоступный динамическим теориям; в них явно отражается связь необходимого и случайного.

Как показало развитие науки, статистические законы и теории – это наиболее совершенная форма описания физических закономерностей, поскольку включают в себя и случайность. На уровне статистических законов и закономерностей также проявляется причинность. Но детерминизм в статистических закономерностях представляет более глубокую форму детерминизма в природе. В отличие от жесткого классического детерминизма он может быть назван вероятностным детерминизмом.

Истинное, всеобъемлющее значение вероятностного детерминизма стало очевидным только после создания квантовой механики. До её появления считалось, что поведение индивидуальных объектов всегда подчиняется динамическим закономерностям, а поведение совокупности объектов – статистическим, т. е. предполагалось, что низшие, простейшие формы движения описываются динамическими закономерностями, а высшие, более сложные – статистическими. Тем не менее развитие квантовой механики показало, что как низшие, так и высшие формы движения материи могут описываться и динамическими, и статистическими законами. Например, квантовая механика и квантовая статистика описывают разные формы материи, но обе эти теории являются статистическими.

Возвращаясь к проблемам причинности, подчеркнём, что на основе динамических и статистических законов проявляются динамическая и вероятностная причинности. И как статистические законы

глубже отражают объективные связи природы по сравнению с динамическими, так и вероятностная причинность считается более общей формой причинности. Динамическая причинность – лишь её частный случай.

Однако такое понимание причинности в квантовой физике утвердилось далеко не сразу. Долгое время часть выдающихся физиков – Н. Бор, М. Борн, Паули – придерживались концепции, что все явления природы подлежат лишь вероятностной интерпретации. В то же время многие не менее выдающиеся физики, в том числе создатели квантовой механики Шрёдингер, Эйнштейн, Луи де Бройль, Макс Планк, подобное статистическое истолкование квантовой теории признавали крайне неприемлемым. Суть спора сводилась к следующему: является ли статистический характер законов квантовой физики результатом неполного знания, и не уступят ли эти законы в будущем свое место новым детерминистским законам или вероятность лежит в основе законов самой природы.

Широко известно выражение А. Эйнштейна: «Бог не играет в кости». Эта же мысль прослеживается и в его письме Дж. Франку: «Я могу ещё, если на то пошло, понять, что Господь Бог мог сотворить мир, в котором нет законов природы. Короче говоря, хаос. Но то, что должны быть статистические законы с вполне определенными решениями, например законы, вынуждающие Господа Бога бросать кости в *каждом отдельном случае*, я считаю в высшей степени неудовлетворительным (М. Клайн. Математика. Поиск истины. М. : Мир, 1998. С. 271), ([URL: litresp.ru/chitat/ru/K/klajn-moris/matematika-poisk-istini/16](http://litresp.ru/chitat/ru/K/klajn-moris/matematika-poisk-istini/16)).

В статье «Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным?» Эйнштейн утверждал, что волновая механика не полна; со временем должна появиться статистическая квантовая теория, которая явится аналогом статистической механики. По его мнению, вследствие большого числа частиц их ансамбли должны описываться на основе статистики. То есть Эйнштейном, как и многими его современниками, понятие вероятности относилось исключительно к системам частиц, ансамблям, но не к поведению одного микрообъекта.

Однако фундаментальный закон квантовой механики – принцип неопределённостей Гейзенберга – приводит к неопределённости определения значения либо координаты, либо скорости именно отдельной частицы, которой она обладает в данный момент времени и как следствие приводит к отсутствию траектории движения микрообъекта. В связи с этим академик А. Фок считал, что неравенства Гейзенберга указывают пределы применимости классического способа описания.

В то же время развитие других различных областей физики показало, что не может быть и речи о несущественности случайности или что случайность означает отсутствие причины. Случайность выступает как одна из форм проявления необходимости. Другими словами, в начале XX века физика «доросла» до признания вероятностных представлений, лежащих в самих основах мироздания.

Новым способом описания поведения микрообъектов стал вероятностный. Поэтому крупнейшими учёными, такими как Н. Бор, В. Гейзенберг, М. Борн, П. Ланжевен и другими, был выдвинут тезис о первичности статистических законов. Понятие вероятности стало признаваться более фундаментальным, оно первично. *И если в классической физике вероятностным законам подчинялось поведение большого числа частиц, то в квантовой механике поведение каждой частицы подчиняется вероятностным законам.*

Это новое понимание причинно-следственных связей чрезвычайно важно и для жизнедеятельности человека, например, для работы лазеров или в эксплуатации ядерных реакторов и для всей атомной энергетики. Действительно, нельзя точно предсказать, какая именно частица радиоактивного вещества распадётся, какое именно превращение частиц произойдет, можно говорить только о вероятности того или иного превращения. Нельзя предсказать момент распада индивидуальной частицы. Мы принципиально не можем управлять длительностью жизни микрочастицы. Кроме того, эта длительность не зависит от того, сколько она «прожила». И всё же это не означает, что атомные явления протекают совершенно произвольным образом. И в проявляющемся хаосе есть порядок. Законы атомной физики имеют природу статистических закономерностей, согласно которым вероятность атомных явлений определяется динамикой всей системы.

Таким образом, в современной картине мира фундаментальными считаются вероятностные закономерности, несводимые к динамическим. Принципиально новым содержательным достижением современного физического знания стало понимание того, что вероятностные законы управляют не только коллективами атомных частиц, но и поведением отдельного микрообъекта. С точки зрения квантовой физики, наблюдатель на основе знания начальных условий квантового объекта в принципе не может однозначно определить его будущее состояние. Он может определить лишь вероятность такого состояния.

К тому же классическая и квантовая статистики, описывающие поведение систем, отличаются друг от друга. Если классическая статистика оперировала самими вероятностями (сложение вероятностей), то квантовая статистика оперирует амплитудами вероятностей, т. е. здесь прослеживается интерференция явлений, не имеющая аналогов в классической физике.

В настоящее время часть учёных склоняется к мнению, что причина случайности заключена во взаимодействии объекта со всем миром, т. е. благодаря наличию большого числа связей, влияющих на движение и состояние объекта. Сама природа случайных связей микрообъекта может быть объяснена взаимодействием микрочастицы с вакуумом через виртуальные микрообъекты. Так, Д. Бом подчёркивает: «По-видимому, необходимо отказаться от представлений, что Вселенную можно фактически разбить на отдельные части, и заменить эти представления о всём мире как едином целом. Повсюду, где квантовые явления играют существенную роль, мы найдём, что отдельные «части» Вселенной могут существенно изменяться с течением времени вследствие неизбежных и неразделимых связей, существующих между ними. ... мы приходим к картине Вселенной как неделимого, но гибкого и постоянно изменяющегося целого» [18].

Тем самым в современной картине мира случайность стала принципиально важным атрибутом. И поскольку случайность и неопределённость лежат в основе природы вещей, то именно язык вероятности стал нормой при описании физических законов.

*Таким образом, причинность в современной физической картине мира имеет вероятностный характер (вероятностная причинность).*

Второе направление научных исследований, кардинально изменившее предыдущие физические представления о мире, связано с изменением понимания методологии познания физической реальности, в частности, с представлениями о роли наблюдателя в акте измерения и наблюдения за объектом исследования. Классическое представление основано на том, что устройство мира можно познавать, не влияя на протекающие в нём процессы, т. е. акт познания происходит как бы вне физической реальности. Особенности такой методологии познания описаны М. Борном: «Предполагается, что внешний мир – объект естествознания – с одной стороны, и мы – наблюдающие, мыслящие и вычисляющие субъекты – с другой, полностью отделены друг от друга, что существует способ исследования явления, не вмешиваясь в его течение. Такова философия науки, при которой выросли мы, люди старого поколения. Этот стиль можно назвать ньютоновским, ибо образцом его является небесная механика Ньютона» ([URL: fmf.npi-tu.ru>admin...files/](http://fmf.npi-tu.ru/admin...files/)).

Иными словами, в классическом понимании само собой разумелось, что между объектом наблюдения и прибором для измерения (наблюдателем) существует резкая граница. В результате все прежние картины мира создавались как бы извне: исследователь изучал окружающий мир отстранённо, в полной уверенности, что можно исследовать явления, не нарушая их течения. Возникло странное противоречие – человек существует, но существует как бы сам по себе, а природа – тоже сама по себе. При исследовании природы человек всего лишь внешний наблюдатель, он отстранён от самой природы.

Необходимость отказа от той естественнонаучной традиции, когда человек бесконечно детально готов был препарировать природу, находясь от неё отстранённо, извне, хорошо осознал уже Гете: «Во всем подслушать жизнь стремясь, спешат явления обездушить, забыв, что если в них нарушить одушевляющую связь, то больше нечего и слушать» («Фауст»).

При становлении квантовой физики, выражаясь словами Н. Бора, физикам был преподан урок: при изучении атомных явлений физики неоднократно научались тому, что вопросы, на которые, как считалось, давно получены окончательные ответы, таят в себе подчас неожиданные для них сюрпризы.

И вновь физическая наука демонстрирует наличие различных альтернативных подходов разных научных школ в интерпретации новых неожиданных результатов научного познания. Так, к примеру, Эйнштейн, как уже показывалось ранее при становлении КПКМ, не включал в понятие «физическая реальность» акт наблюдения и измерения. В отличие от него Н. Бор считал его важнейшим элементом физической реальности, поскольку выявилась принципиальная зависимость между объектом наблюдения и самим методом исследования. Аналогичную позицию занимал В. Гейзенберг, обращая внимание на следующий факт. «Мы с самого начала находимся в средоточии взаимоотношений природы и человека, и естествознание представляет собой только часть этих отношений, так что общепринятое разделение мира на субъект и объект, внутренний мир и внешний, тело и душу больше неприемлемо и приводит к затруднениям. Стало быть, и в естествознании предметом исследования является уже не природа сама по себе, а природа, поскольку она подлежит человеческому вопрошанию, поэтому и здесь человек опять-таки встречается самого себя. ... Если в наше время можно говорить о картине природы, складывающейся в точных науках, речь, по сути дела, идет уже не о картине природы, а о картине наших отношений к природе. ... В поле зрения ... прежде всего – сеть взаимоотношений человека с природой, те связи, в силу которых мы, телесные существа, представляем собой часть природы, зависящую от других ее частей, и в силу которых сама природа оказывается предметом нашей мысли и действия только вместе с самим человеком. Наука уже не занимает позиции наблюдателя природы, она осознает себя как частный вид взаимодействия человека с природой. Научный метод, сводившийся к изоляции, объяснению и упорядочению, натолкнулся на свои границы. Оказалось, что его действие изменяет и преобразует предмет познания, вследствие чего сам метод уже не может быть отстранен от предмета. В результате естественнонаучная картина мира по существу перестает быть только естественнонаучной» (Гейзенберг В. Картина природы в современной физике // Избранные философские работы. СПб., 2006. С. 230 – 234).

Иллюстрацией, наглядно подтверждающей данный тезис, послужило исследование поведения микрообъекта в интерферометре. Для примера рассмотрим один из известных в науке физических опы-

тов. Имеются источник электронов и экран с двумя щелями, через который должны проходить микрочастицы. Также есть два фотоприемника и два источника света. При включенных источниках света на экране наблюдается суммарная электронная кривая. Это один результат – при «подглядывании» за поведением частиц. При выключенных источниках света наблюдается интерференционная картина, т. е. получается совершенно другой результат, и это результат «без подглядывания». Фактически при «подглядывании» происходило взаимодействие фотонов с проходящими электронами, при выключенных источниках света такого взаимодействия не было. Наблюдение имеет принципиальный характер: наблюдатель (контролирующий прибор) и характер физического процесса взаимосвязаны.

О влиянии измерительного прибора на состояние микрообъекта свидетельствует и принцип неопределённостей Гейзенберга. При точном измерении одной из дополнительных величин с помощью соответствующего прибора в результате его взаимодействия с частицей другая физическая величина (её значение) претерпевает неконтролируемое изменение. При одной схеме эксперимента точно определяется координата, при другой – импульс.

Результат В. Гейзенберга был осмыслен Н. Бором как важное методологическое положение. Позже, в 50-х гг. XX столетия, известный отечественный физик В. А. Фок обобщил его как «принцип относительности к средствам измерения и наблюдения». Проведя сравнение процедур измерения в классических и квантовых явлениях, В. А. Фок приходит к выводу о том, что «не только точность в количественном смысле, но и качественная формулировка новых свойств микрообъектов требует новых методов описания и прежде всего необходимо внести в их описание новый элемент относительности – относительность к средствам наблюдения» (Фок В. А. Квантовая физика и философские проблемы // Физическая наука и философия. М. : Наука, 1973. С. 55 – 77).

Принцип относительности к средствам измерения, предложенный В. А. Фоком, означает следующее: в классической физике свойства объекта (координату, скорость и т. д.) можно измерить одновременно с помощью различных приборов. Значения получаемых при этом физических величин, характеризующих свойства изучаемого объекта, не зависят от приборов, которыми мы пользуемся. Принци-

пиально иначе обстоит дело в квантовой физике. Измерительный прибор оказывает влияние на свойства микрообъекта, и это называется относительностью к средствам наблюдения.

В классическом мире Ньютона при измерении координаты тела результат не будет зависеть от выбора прибора. Используя различные приборы, всегда можно точно измерить одну или более одной величины одновременно (например, координату и импульс) с некоторой погрешностью. В квантовом мире ситуация меняется. Измерения в квантовой механике имеют принципиальное отличие по сравнению с измерениями в макромире, так как объект исследования и измерительные приборы подчиняются законам различного уровня и масштаба. Измеряемые свойства микрочастицы или микросистемы подчиняются законам микромира, а прибор – макромира. Мы не можем точно измерить для микрочастицы любые две величины одновременно. И это не зависит от нашего незнания. Определённые числами свойства квантовых объектов возникают как отношения между ними и классическими приборами при измерении, позволяющем наблюдателю получить о них информацию.

Чрезвычайно важно при этом обратить внимание на то, что координата и импульс частицы не могут быть одновременно измерены, они просто не существуют одновременно, безотносительно к измерению. Это доказывают современные опыты известного французского физика А. Аспекта по нарушению неравенств Белла. Неравенства Белла теоретически доказывают, что свойства объекта (например, координата или импульс) не существуют до измерения, но возникают при измерении ([URL: emissia.org/offline/2014/2221.htm](http://emissia.org/offline/2014/2221.htm)).

Этот принцип на первый взгляд противоречит требованию объективности исследования, согласно которому измерение должно быть инвариантно относительно средств измерения. Однако дело здесь в объективной ограниченности в области микромира самой процедуры измерения. Исследовательские средства вносят возмущающий эффект, и отвлечься от него невозможно.

Таким образом, в квантовой области даже маленькое возмущение, создаваемое в процессе измеряющего взаимодействия, может существенно изменить результат. То есть было выявлено, что влияние прибора, оказываемое при измерении, – неотделимая часть самого ак-

та измерения. Образно говоря, мы должны становиться либо по одну, либо по другую сторону двери. И от того, где мы находимся, будет существенно зависеть то, что нам удастся увидеть.

В процессе создания современной картины мира принцип относительности к средствам наблюдения утверждается ещё больше. Научная картина мира создается уже не «извне», а «изнутри», сам исследователь становится неотъемлемой частью создаваемой им картины. Познание природы предполагает присутствие человека, и надо ясно осознавать, что мы, как выразился Н. Бор, не только зрители спектакля, но одновременно и действующие лица драмы.

Постепенно в сознании научного сообщества утверждалось и продолжает утверждаться представление о единстве окружающего мира, о включённости человека в природу: человек и природа представляют собой нерасторжимое единство. Человека нельзя мыслить только наблюдателем – он сам действующий субъект системы.

Эволюция представлений о роли и месте наблюдателя в акте научного познания разработана крупным философом отечественной науки академиком В. С. Степиным (рис. 36).



Рис. 36

Как видно из схемы, классическая парадигма исходила из идеала возможности получения абсолютно объективного научного знания. Наблюдатель находился в стороне (извне) от исследуемого фрагмента природной действительности.

Классическая наука (XVII – XIX века), исследуя свои объекты, стремилась при их описании и теоретическом объяснении устранить по возможности всё, что относится к субъекту, средствам, приёмам и операциям его деятельности. Такое устранение рассматривалось как необходимое условие получения объективно-истинных знаний о мире. Здесь господствует объектный стиль мышления, стремление познать предмет сам по себе, безотносительно к условиям его изучения субъектом. Предполагается, что влияние средств наблюдения в эксперименте можно всегда сделать пренебрежимо малым, сведя его практически к нулю. Это идеалы классической рациональности, объективности научного знания относительно открываемых законов природы, которые в полной мере реализованы в ньютоновской механике, имеющей дело с макротелами.

Неклассическая наука (неклассическая парадигма) – первая половина XX века – обусловлена созданием релятивистской и квантовой теорий. Происходит отход от прямолинейного объективизма классической науки, и начинают осмысливаться связи между объектом познания и характером средств и операций деятельности субъекта. Человек задаёт вопрос природе, природа отвечает, но ответ теперь существенным образом зависит и от способа вопрошания, и от контекста вопроса. Возникает принцип относительности результата познания к средствам наблюдения, осознаётся принципиальная неустранимость влияния наблюдения на систему. Объект познания и средства наблюдения выступают как единый гносеологический комплекс.

Постнеклассическая наука радикально изменяет представления о стратегиях эмпирического исследования. В постнеклассической парадигме (современная физическая картина мира) утверждается более глубокое и расширенное представление о наличии неустранимых и глубоких отношений не только средств измерения относительно предмета познания, но и познающего субъекта к познаваемому фрагменту действительности, т. е. дополнительный аспект связан с включением человеческого сознания в процедуру и акт природного познания. Выделение субъекта и объекта познания приобретает всё более условный характер, сменяясь их *единством, дополненностью*. Человек вопрошает – природа отвечает, но ответ зависит ещё от способности понимания спрашивающего. Теперь в акте познания представ-

лены все участники опыта: субъект, средства, объект. Это даёт возможность замкнуть информационную петлю через сознание субъекта. (Герасимова И. А. Философия науки : учеб. пособие. М. : Изд-во РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. С. 42).

Принципиально новые отличия методологии познания постнеклассической науки обусловлены тем, что объектами исследования на этом этапе развития науки становятся сложные системные образования, которые характеризуются уже не только саморегуляцией (с такими объектами имела дело и неклассическая наука), но и саморазвитием.

В постнеклассический период в физической картине мира данные принципиальные особенности физического научного познания наиболее ярко проявляются в таких альтернативных концепциях, как концепция бутстрапа и голографический принцип строения Вселенной. На их основе принцип относительности к приборам измерения, выдвинутый в неклассический период развития физики, получает своё вполне содержательное обоснование.

Авторами концепции бутстрапа (англ. *bootstrap* – обратная связь), возникшей в середине 80-х гг. XX века, были американский физик Дж. Чу, его коллега Ф. Капра, итальянский ученый Ф. Редже и английский физик Д. Бом. Философия бутстрапа отвергает механистическое мировоззрение классической физики.

В контексте нового подхода Вселенная рассматривается в качестве сети взаимосвязанных событий. Ни одно из свойств того или иного участка этой сети не имеет фундаментального характера; все они обусловлены свойствами остальных участков сети, общая структура которой определяется универсальной согласованностью всех взаимосвязей. В принципе философия бутстрапа представляет собой кульминационное проявление того способа мировосприятия, который в свое время лёг в основу квантовой теории, постулировавшей всеобщую сущностную взаимосвязанность всех явлений. Теория бутстрапа сформулирована в терминах вероятностей реакций в теории  $S$ -матрицы.

По мнению Дж. Чу (автора идеи бутстрапа), применение методики бутстрапа для анализа явлений непременно приведёт к необходимости открыто включить рассмотрение человеческого сознания в

будущие теории материи. Дж. Чу пишет: «Будучи доведена до своего логического завершения, теория бутстрапа предполагает, что существование сознания, наряду с существованием всех остальных аспектов природы, необходимо для самостоятельного существования целого» ([URL: mydocx.ru/4-112450.html](http://mydocx.ru/4-112450.html)).

Таким образом, следуя философии бутстрапа, сознание должно представлять неотъемлемый компонент Вселенной, который в будущем войдёт в теорию физических явлений.

Кроме Дж. Чу в этом направлении работает и ряд других физиков. Один из самых неожиданных подходов связан с теорией Д. Бома, который, по всей видимости, пошёл дальше всех в изучении соотношения между сознанием и материей в научном контексте. А голографическая модель Вселенной Бома по сути является реализацией философских идей гипотезы «бутстрапа», хотя и появилась практически одновременно (примерно в середине 60-х гг. XX века), но независимо от неё.

Гипотеза о голографическом строении Вселенной была сформулирована в середине XX века Д. Бомом, учеником А. Эйнштейна. Согласно теории Бома весь мир устроен как голограмма. Всё, включая сознание и материю, активно влияет на целое, а посредством целого и на все составляющие.

Д. Бом отвергает идею о том, что частицы не существуют до тех пор, пока не попадают в поле зрения наблюдателя, и настаивает на том, чтобы свести вместе сознание и физику. Им утверждается, что большинство физиков идут по ложному пути, пытаясь разделить реальность на части и заявляя, что одна независимая сущность – сознание – взаимодействует с другой независимой сущностью – элементарной частицей.

Поскольку все вещи – это аспекты голодинамики (голографической – *Л. Г.*), Бом полагает, что нет смысла говорить о взаимодействующих сознании и материи. В некотором смысле наблюдатель и есть само наблюдаемое. Наблюдатель – это также измерительный прибор. Фактически Бом считает, что сознание – это более тонкая форма материи, и основа для её взаимодействия с другими формами материи лежит не на нашем уровне реальности, а в глубинном имплицитном порядке. Сознание и материя, по Бому, представляют собой

вложенные друг в друга проекции более высокой реальности, которая не является ни сознанием, ни материей в чистом виде. Правда, Бом не называет эту более высокую реальность Творцом.

Теоретико-математические исследования показывают, что гипотеза физического существования Вселенной как модели мира, имеющей голографическую природу, оказывается возможной, если допустить, что она имеет форму гиперсферы, где каждый предмет, будучи стоячей волной и находясь в определённом месте пространства, одновременно находится во всех точках Вселенной (принцип нелокальности). Здесь должна проявляться геометрия Лобачевского. Эти представления имеют глубокий мировоззренческий и методологический смысл.

Принцип голограммы – «всё в каждой части». Как любой сколь угодно малый участок голограммы содержит в себе всё изображение трехмерного объекта, так и каждый существующий объект «вкладывается» в каждую из своих составных частей. Подобно голограмме, где каждый сегмент содержит информацию о целом объекте, каждый участок воспринимаемого нами мира содержит в себе полную информацию о структуре Вселенной. Вселенная представляет собой гигантскую голограмму, где самая крошечная часть изображения несёт информацию об общей картине, где всё взаимосвязано и взаимозависимо.

Д. Бом считает, что если каждая частица материи взаимосвязана со всеми остальными частицами, то сам мозг нужно рассматривать как бесконечно взаимосвязанный с остальной Вселенной [18].

Однако необходимо отметить, что большая часть современных физиков остается скептиками в отношении идей Бома. Например, физик Йейльского университета Ли Смолин не находит теорию Бома достаточно убедительной и физически корректной, но все же размах мышления Бома, по его мнению, вызывает невольное уважение. Физик из Бостонского университета А. Шимони высказывает такое отношение к теории Бома: «Боюсь, что не понимаю его теорию. Конечно, это метафора, и вопрос состоит в том, как её принимать. Он очень глубоко анализирует природу материи, и я думаю, что вопросы, которые он поднимает, имеют огромное значение для дальнейшего прогресса физической науки. Несомненно, он – настоящий мыслитель с невероятно смелым воображением» ([URL: litlib.net/bk/4159/read/5](http://litlib.net/bk/4159/read/5)).

Несмотря на подобный скептицизм, есть физики, поддерживающие идеи Бома, включая таких маститых ученых, как Р. Пенроуз из Оксфорда (создатель современной теории чёрных дыр), Б. Эспанья из Парижского университета, один из мировых авторитетов в области концептуальных основ квантовой теории, Б. Джозефсон, нобелевский лауреат 1973 г. по физике. Джозефсон считает, что бомовский имплицитивный порядок может однажды привести Бога или Душу в сферу науки – идея, которую поддерживает и сам Джозефсон ([URL: itlib.net/bk/4159/read/5](http://itlib.net/bk/4159/read/5)).

В рамках данной научной парадигмы начинает работать целый ряд современных учёных. Например, доктор философских наук, профессор И. З. Цехмистро в своем учебном пособии для студентов отмечает: «... между квантовой физикой и проблемой сознания действительно существует глубокая связь... в квантовой механике редукция волнового пакета (превращение волновой функции с той или иной вероятностью в собственную функцию оператора измеряемой величины) требует обращения к новой, не сводимой к обычным частицам и полям реальности, каким-то образом связанной с сознанием... Эта новая реальность, служащая предпосылкой существования сознания, при некоторых условиях способна, подобно полю, менять импульс и энергию частицы, производя редукцию волнового пакета, изменяя вероятности результатов измерения... Этой «новой реальностью» является субквантовое свойство уникальной целостности и неразложимости физического мира на множество элементов» (Цехмистро И. З. Холистическая философия науки : учеб. пособие. Сумы : Университет. кн., 2002).

К идее голографической Вселенной приводят исследования в области струнной теории. В 1997 г. Х. Малдасена из Института передовых исследований в Принстоне вызвал сенсацию, показав, что прогнозы струнной теории ведут именно к голографической Вселенной.

Таким образом, современная физическая картина мира, как уже указывалось, движется в самых различных теоретико-методологических направлениях, разрабатывая множество альтернативных теорий по поводу одних и тех же физических идей.

Однажды А. Эйнштейн сказал: «Природа показывает нам только львиный хвост. Но я нисколько не сомневаюсь в том, что этот хвост принадлежит льву, хотя увидеть его целиком невозможно ввиду колоссальных размеров» ([URL: lektsii.com/3-2275.html](http://URL: lektsii.com/3-2275.html)...копия).

Таким образом, процесс физического познания неисчерпаем, создавая историческое физическое время, время, приводящее к смене всё новых и новых физических картин мира.

### **Вопросы для контроля**

Какие новые представления о сущности причинно-следственных связей квантово-полевого картины мира развиты в современной физической картине мира?

Как изменялись представления о вероятности в различных физических картинах мира?

Какие типы физических законов, динамические или статистические, описывают поведение микрообъектов? Почему?

В чём заключается суть и принципиальные особенности классической и квантовой статистик?

Применимо ли понятие вероятности к описанию одной отдельной микрочастицы?

Какова принципиальная особенность причинно-следственных связей, применяемых в современной физической картине мира?

В чём суть принципа относительности к средствам измерения и наблюдения?

Каким образом можно подтвердить принцип относительности к средствам измерения?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наша первейшая задача –  
научиться слушать природу,  
чтобы понять её язык.

*И. Тамм*

Поиски истины всегда  
своевременны и не напрасны.

*П. Флоренский*

Рассматривая эволюцию и смену физических картин мира, необходимо иметь в виду, что их становление шло в общем русле развития всего научного дисциплинарного знания, прошедшего в общем случае три этапа:

- классика;
- неклассика;
- постнеклассика.

*Классический период развития науки* происходил в рамках роста дисциплинарного знания из целостной натурфилософской картины мира, знаний эпохи Возрождения и Средневековья. Теоретической базой классического периода выступала классическая физика макромира, в обобщённом виде представленная в механической картине мира. Механическая картина мира накладывала вполне определённый отпечаток на все области естествознания в плане всех гносеологических процедур, т. е. всей методологии и приёмов научного познания.

*Неклассика* начинает вводить в систему научного описания мира понятия и законы, которые противоречат здравому смыслу, она не опирается на комплекс ощущений. Здесь формируются и развиваются специальная и общая теории относительности, квантовая теория, обусловившие характерные черты электромагнитной и квантово-полевой физических картин мира. Электромагнитная картина мира изъела из списка сил гравитацию, сведя её к кривизне пространства-времени, тем самым положила начало возникновению Вселенной (Большой взрыв). Что касается квантово-полевой картины мира, то весьма точно содержание квантовой механики, лежащей в её основе, описывал Н. Бор, считавший, что она «должна быть достаточно безумной, чтобы быть правильной» ([URL: fanread.ru/Книги/8146608/?page=111](http://fanread.ru/Книги/8146608/?page=111)).

Квантовый мир действительно производит ошеломляющее впечатление: происходит отказ от непрерывности, траекторий, лапласовского детерминизма, безграничной возможности детализации объектов, от возможности абстрагировать наблюдателя от измерительного прибора.

*Постнеклассика* (конец XX – начало XXI века) рассматривает сложные эволюционные системы, включая в единый гносеологический комплекс не только природу и средства научного исследования, но и наблюдателя – человека. Наука (физика, в частности) становится человекомерной системой; начинает учитываться человеческий фактор, а именно сознание человека, которое накладывает отпечаток на познавательные процедуры и получаемые результаты познавательной деятельности. То есть в физической картине мира начинает присутствовать человек и его мысль. Иначе, гносеологический процесс становится человекомерным.

Подытоживая, подчеркнём, что в настоящее время создаётся эволюционная картина мира, главной чертой которой является саморазвитие. Однако говорить о едином и целостном взгляде на природу и Вселенную в настоящее время не приходится.

Полное представление о физической реальности возможно получить, по мнению многих ведущих учёных современности, лишь на основе совокупности теорий из различных физических парадигм, кардинально отличающихся друг от друга. Сопоставительный анализ разрабатываемых в настоящее время научных моделей и гипотез свидетельствует, насколько различно мировосприятие и миропонимание учёных, работающих в рамках каждой из таких парадигм.

Оценку происходящего в фундаментальной физике XXI века можно выразить словами М. Планка, сказанными около ста лет назад: «Кризис, в котором находится сегодня физическое мировоззрение, по своей глубине и остроте превышает все предыдущие. Кризис углубляется ещё тем, что он наступил в момент, когда казалось, что физическая наука достигла высшей степени совершенства». (Кляус Е. М. *Поиски и открытия*. М. : Наука, 1986. 176 с.).

Дискуссионное поле физики, разрабатывающей современную физическую картину мира, настолько обширно, что вполне можно согласиться и с высказыванием Р. Фейнмана, характеризовавшего ситуацию с квантовой теорией при её зарождении следующим образом:

«Но, мне кажется, я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает» ([URL: ru.wikiquote.org/wiki/Ричард\\_Фейнман](http://ru.wikiquote.org/wiki/Ричард_Фейнман)).

Усиливают это впечатление и мнения наших современников, один из которых утверждает, что «основания квантовой механики – это то, на чём будет вечно покоиться её прах» [6, с. 159].

В настоящее время идут острейшие дискуссии по поводу правильности положений специальной и общей теорий относительности. Появляется ряд физиков, утверждающих, что представления А. Эйнштейна, изложенные в этих теориях и являющиеся основой дальнейших научных разработок, становятся мировоззренческим препятствием для развития современных научных теорий. По этому поводу академик В. Л. Гинзбург писал: «...любопытно, что какое-то гипнотическое влияние утверждения о невозможности превзойти скорость света в вакууме продолжает действовать и в наше время» [14, с. 324]. И далее «Среди современных “критиков” ОТО считается, что физики защищают теорию относительности и квантовую механику, восхищаются Эйнштейном и Бором в силу невесть чего – философского идеализма, догматизма или невежества, а то даже в силу групповщины или национализма» [Там же, с. 260].

Гипотез, альтернативных положениям и электромагнитной, и квантово-полевой картин мира, становится всё больше. Это оспариваемые, но тем не менее разрабатываемые теории, такие как теории торсионных полей, суперобъединения, волновой природы времени, введение квантона и многое другое.

В то же время, говоря словами физика-теоретика А. Л. Зельманова, не исключено, что «из всех прогнозов самый верный состоит в том, что ни один прогноз не окажется верным» ([URL: intelros.ru/pdf/metafizika/2012\\_...копия](http://intelros.ru/pdf/metafizika/2012_...копия)).

В заключение хочется подчеркнуть, что, на наш взгляд, вполне возможно согласиться с мнением М. Б. Каменаровича: «Развитие человеческой мысли показывает возможность множества вариантов объяснения и описания мира, и нельзя априори отбрасывать те из них, которые ряду современных физиков не нравятся по тем или иным причинам. Толерантность и плюрализм как методологический принцип здесь суть обязательные условия достижения нашей общей цели – познания мира» [Там же, с. 21].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основной

1. *Архипкин, В. Г.* Естественнонаучная картина мира : учеб. пособие / В. Г. Архипкин, В. П. Тимофеев. – Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. ун-та, 2002. – 320 с. – ISBN 5-7638-03-45-0.

2. *Вонсовский, С. В.* Современная естественно-научная картина мира / С. В. Вонсовский. – Екатеринбург : Изд-во Гуманитар. ун-та, 2005. – 680 с. – ISBN 5-901527-39-9.

3. *Гусейханов, М. К.* Современная естественно-научная картина мира / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 1. – С. 45 – 46.

4. Концепции современного естествознания / О. С. Габриелян [и др.]. – М. : Дрофа, 2009. – 208 с. – ISBN 978-5-358-03116-6.

5. *Горелов, А. А.* Концепции современного естествознания : учеб. для вузов / А. А. Горелов. – М. : Центр, 2010. – 512 с. – ISBN 978-5-7695-6579-3.

6. *Владимиров, Ю. С.* Метафизика / Ю. С. Владимиров. – 4-е изд., стер. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 590 с. – ISBN 978-5-9963-2610-5.

7. *Садохин, А. П.* Концепции современного естествознания : учеб. для студентов вузов, обучающихся по гуманитар. специальностям и специальностям экономики и упр. / А. П. Садохин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 447 с. – ISBN 978-5-238-01314-5.

8. Концепции современного естествознания / под ред. проф. С. И. Самыгина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д. : Феникс, 2003. – 448 с. – (Серия «Учебники и учебные пособия») – ISBN 5-222-03034-2.

9. *Клягин, Н. В.* Современная научная картина мира / Н. В. Клягин. – М. : Логос, 2012. – 262 с. – ISBN 978-5-98704-691-3.

10. *Ньютон, И.* Математические начала натуральной философии / И. Ньютон. – М. : Наука, 1989. – 706 с.

11. *Найдыш, В. М.* Концепции современного естествознания : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2005. – 622 с. – ISBN 5-98281-006-1 (Альфа-М). – ISBN 5-16-001660-0 (ИНФРА-М).

## Дополнительный

12. *Брайан, Г.* Элегантная Вселенная. Краткая история теории струн [Электронный ресурс]. – URL: [izd.pskgu.ru/ebooks/grin\\_36.htm](http://izd.pskgu.ru/ebooks/grin_36.htm)копия (дата обращения: 17.07.2016).

13. *Гусев, Д. А.* Концепции современного естествознания : учебник / Д. А. Гусев. – М. : Прометей, 2015. – 202 с. – ISBN 978-5-99061-349-2.

14. *Каменарович, М. Б.* Проблемы пространства и времени : монография / М. Б. Каменарович. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 432 с. – ISBN 5-7038-2522-3.

15. *Романова, Е. М.* Курс лекций по дисциплине «Концепции современного естествознания» / Е. М. Романова. – Ульяновск : Изд-во ГСХА, 2009. – 118 с.

16. *Скопин, А. Ю.* Концепции современного естествознания / А. Ю. Скопин. – М. : Проспект, 2004. – 392 с. – ISBN 5-98032-265-5.

17. *Соломатин, В. А.* История и концепции современного естествознания / В. А. Соломатин. – М. : ПЕРСЭ, 2002. – ISBN 5-929200-35-1.

18. *Талбот, М.* Голографическая Вселенная : пер. с англ. / М. Талбот. – М. : София, 2004. – 368 с. – ISBN 5-9550-0482-3.

19. *Шрёдингер, Э.* Новые пути в физике : ст. и речи / Э. Шрёдингер. – М. : Наука, 1971. – 119 с.

20. Сибирское отделение Российской академии наук. Институт физики им. Л. В. Киренского. Kirensky Institute of Physics. – URL: <http://kirensky.ru/zdoc/natural9.pdf/view> (дата обращения: 17.07.2016).

*Учебное издание*

ГУБЕРНАТОРОВА Лариса Ивановна

**ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА КАК КОМПОНЕНТ  
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА**

Учебное пособие

Редактор А. П. Володина  
Технический редактор С. Ш. Абдуллаева  
Корректор Е. П. Викулова  
Компьютерная верстка Е. А. Герасиной

Подписано в печать 05.05.17.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 13,72. Тираж 80 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.