

Министерство образования и науки Российской Федерации
Амурский государственный университет

М.А. Мельникова

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
(избранные разделы)
Учебное пособие

Благовещенск
Издательство АмГУ
2011

ББК 20 я73

М48

*Рекомендовано
учебно-методическим советом университета*

Рецензенты:

*Копылова И.Б., доцент кафедры теоретической и экспериментальной
физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук;*

*Луценко И.А., старший научный сотрудник ИГиП ДВО РАН,
канд. хим. наук*

М48 Мельникова, М.А. Концепции современного естествознания (избранные разделы). Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. / М.А. Мельникова. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2011. – 116 с.

Пособие призвано оказать помощь студентам в подготовке к практическим занятиям по темам: наука и научный метод, пространство и время, фундаментальные взаимодействия и элементарные частицы в рамках предмета «Концепции современного естествознания».

Пособие содержит три раздела в соответствии с вышеназванными темами. Каждый раздел состоит из теоретической части, вопросов для самоконтроля и библиографического списка.

Пособие предназначено для студентов экономических и гуманитарных специальностей, изучающих предмет «Концепции современного естествознания» как очного, так и заочного обучения.

ББК 20 я73

© Мельникова М.А., 2011

© Амурский государственный университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Тема № 1. НАУКА И НАУЧНЫЙ МЕТОД.....	6
Раздел первый. Наука и ее роль в формировании картины мира.....	6
1. Образ науки.....	6
2. Проблема возникновения науки.....	8
3. Историческая обусловленность фундаментальных открытий.....	12
4. Псевдонаука как имитация научной деятельности.....	13
Вопросы для самоконтроля.....	17
Раздел второй. Научный метод.....	19
1. Классификация методов научного познания.....	19
2. Характеристика научных методов.....	20
Вопросы для самоконтроля.....	30
Раздел третий. Частнонаучные методы в естествознании.....	31
1. Физические методы исследования в химии.....	31
2. Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц.....	33
3. Исследование химического состава и метаболизма клеток и тканей.....	35
Библиографический список.....	36
Тема № 2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ.....	37
Раздел первый. Развитие взглядов на пространство и время в истории естествознания.....	37
1. Пространство и время в натурфилософской картине мира.....	37
2. Субстанциональная и реляционная концепции.....	38
3. Пространство и время в естественнонаучных картинах мира.....	39
4. Свойства пространства и времени.....	40
5. Связь свойств пространства и времени с законами сохранения.....	42
6. Представления о пространстве и времени в основных физических теориях XIX – XX вв.	43
7. Исследовательские программы, альтернативные теории относительности А. Эйнштейна.....	52
Вопросы для самоконтроля.....	53
Раздел второй. Восприятие человеком пространства и времени.....	55
1. Восприятие пространства.....	55
2. Восприятие времени.....	57
3. Развитие пространственно-временного восприятия в онтогенезе.....	59
Вопросы для самоконтроля.....	61
Раздел третий. Законы сохранения.....	62
1. Закон сохранения массы.....	62
2. Закон сохранения энергии.....	63
3. Закон сохранения электрического заряда.....	64
4. Законы сохранения импульса и момента импульса.....	65
Задачи на тему «Законы сохранения».....	66
Библиографический список.....	68

Тема № 3. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	69
<i>Раздел первый. Элементарные частицы</i>	69
1. Элементарные частицы в истории науки.....	69
2. Классификация элементарных частиц	71
3. Свойства элементарных частиц	77
4. Барионная асимметрия Вселенной.....	80
5. Взаимопревращения элементарных частиц.....	82
6. Элементарные частицы и законы сохранения.....	83
Вопросы для самоконтроля.....	84
<i>Раздел второй. Фундаментальные взаимодействия</i>	86
1. Общая характеристика фундаментальных взаимодействий.....	86
2. Гравитационное взаимодействие.....	87
3. Электромагнитное взаимодействие.....	89
4. Слабое взаимодействие	90
5. Сильное взаимодействие	92
Вопросы для самоконтроля.....	93
<i>Раздел третий. Теории элементарных частиц</i>	95
1. Квантовая электродинамика	95
2. Теория электрослабого взаимодействия.....	96
3. Квантовая хромодинамика – теория сильного взаимодействия	98
4. На пути к великому объединению.....	100
5. Решение проблемы великого объединения с помощью физики высоких энергий	101
Вопросы для самоконтроля.....	105
Библиографический список	106
Приложение 1. Краткий словарь основных терминов и понятий	108
Приложение 2. Что такое «биологические часы»?	114

ВВЕДЕНИЕ

В рамках предмета «Концепции современного естествознания» с помощью знаний, которые были получены научными методами, формируется естественнонаучное мировоззрение, научная картина мира. Поэтому прежде всего при изучении данного предмета необходимо понять, что такое наука, с каким трудом, по крупицам, в спорах добываются научные истины, понять, что, кроме науки, существует также лженаука, представители которой устремляются со своими «псевдознаниями» туда, где истинная наука не успела ответить на поставленные ею же вопросы.

Наука решает вопросы с помощью научных методов. Знание научных методов позволяет оценить подходы, приемы, которые используют ученые-естественники в своих исследованиях. И в этом смысле интерес представляет перечисление и краткая характеристика ряда научных методов, широко применяемых в физике, химии и биологии, а также проявление явной связи этих наук на уровне методологии.

Глобальными темами предмета «Концепции современного естествознания» в рамках физико-философских концепций являются темы: пространство и время, законы сохранения, фундаментальные взаимодействия, элементарные частицы.

В данном пособии эти темы рассматриваются в гуманитарном аспекте с позиции истории развития и формирования вопросов, с привлечением психофизиологических возможностей человека в осмыслении, по крайней мере, пространства и времени.

Материал, изложенный в третьем разделе, характеризует основу нашего мира – элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия, а также вводит студентов в область почти научной фантастики – поиска единой теории, которая, объединив все фундаментальные взаимодействия, поможет человечеству уверенно ответить на вопросы, связанные с рождением и эволюцией Вселенной.

ТЕМА №1. НАУКА И НАУЧНЫЙ МЕТОД

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

НАУКА И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ КАРТИНЫ МИРА

1. Образ науки

Наука – это специфическая деятельность людей, направленная на получение знаний о реальности.

Продукты науки: знания, методы исследования, приборы, способы переработки и хранения информации, которые находят широкое применение за пределами науки; рациональный стиль, который в настоящее время транслируется во все сферы человеческой деятельности.

Формами научного знания являются: факты, закономерности, теории, научные картины мира. В науке есть место как эмпирическому знанию, так и теоретическому. Ученые не только наблюдают и ставят эксперименты, но и обобщают накопленный материал, создавая все новые и новые теории.

«Наука складывается из фактов, как дом из кирпичей. И одно голое накопление фактов не составляет еще науки, точно так же как куча камней не составляет дома». Это высказывание принадлежит французскому математику и астроному Анри Пуанкаре.

Отличительные качества научного знания:

1. Системность научного знания. Огромная область научных знаний разделена на отдельные дисциплины, которые находятся в определенной взаимосвязи и единстве друг с другом.

2. Стремление доказать получаемое знание. Поэтому некоторые историки науки считают, что зарождение математики как науки произошло в Древней Греции. В частности, Фалес Милетский (древнегреческий философ VII – VI вв. до н.э.) первым поставил вопрос о необходимости доказательства геометрических утверждений и сам осуществил целый ряд таких доказательств.

3. Ученый, выдвигая гипотезу, ищет не столько ее подтверждения, сколько опровержения, что выражает критический дух науки.

4. Наибольшую ценность в науке имеют оригинальные, смелые идеи, которые, вместе с тем, подтверждаются опытом. Именно они продвигают научное знание к новым высотам. По выражению Н. Бора, *подлинно глубокая новая теория должна быть в определенном смысле сумасшедшей. Она должна порывать с прежним образом мысли, со старыми стандартами мышления.*

Классические образцы такого рода теорий: неевклидова геометрия, теория эволюции, молекулярная генетика, теория относительности, квантовая механика.

5. Ориентированность на новации сочетается в науке с жестким консерватизмом, который представляет собой надежный заслон лженаучным идеям.

6. Открытия в науке делают вполне определенные ученые. Их имена присваивают тем или иным законам, принципам, теориям, но если бы не было И. Ньютона, Ч. Дарвина, А. Эйнштейна, то эти открытия появились бы все равно, потому что они представляют необходимый этап развития науки.

В науке выделяют **эмпирический и теоретический** уровни познания, каждый из которых имеет свои специфические методы исследования.

Эмпирическое познание поставляет науке факты. Сущность **теоретического познания** заключается не только в описании и объяснении фактов и закономерностей, накопленных в процессе эмпирических исследований, но и в стремлении ученых раскрыть гармонию мироздания.

Большое значение для теоретических исследований имеет философское осмысление сложившихся познавательных традиций. Обращение к философии становится особенно актуальным в переломные этапы развития науки.

Средствами научного познания являются:

язык: специфическая лексика, особая стилистика, понятия, термины;

математика. *«Книга природы написана языком математики»* – Г. Галилей. Арсенал математики активно входит в самую ткань теоретических построений буквально во всех науках;

приборы и аппаратура, эталоны;

компьютеры, используемые для планирования эксперимента, моделирования, хранения информации и т.п.

Наука по самой своей сути – социальное явление. Она создается сообществом ученых на протяжении более двух тысячелетий и представляет собой не только отношение ученого к познаваемой им действительности, но и определенную систему взаимосвязей между членами научного сообщества.

Сегодня наука представляет собой мощную отрасль по производству знаний с огромной материальной базой, с развитой системой коммуникаций; это специальная профессиональная деятельность, дело, которому человек посвящает всю свою жизнь.

Жизнь в науке – это постоянная борьба различных мнений, направлений, борьба за признание работ, идей ученого, борьба за приоритет полученного результата.

2. Проблема возникновения науки

Когда возникла наука? Историки науки предлагают различные ответы на вопрос о дате и месте рождения науки. Рассмотрим некоторые из них.

1. Если считать, что наукой является любая практическая и познавательная деятельность, то можно сказать, что наука возникла в каменном веке, т.к. уже с тех времен человек в процессе непосредственной жизнедеятельности начинает накапливать и передавать другим знания о мире.

2. Если считать, что наука – это сознательное целенаправленное исследование природы, то наука возникла 25 веков назад (примерно в V в. до н.э.) в Древней Греции. В это время на фоне разложения мифологического мышления возникают первые программы исследования природы, осознаются некоторые фундаментальные принципы познания природы.

Ко времени становления древнегреческой цивилизации древними культурами Востока был уже накоплен определенный значительный культурно-исторический опыт.

Историк античной науки И.Д. Рожанский пишет: *«В странах Ближнего Востока математические, астрономические, медицинские и иные знания имели прикладной характер и служили только практическим целям. Греческая наука с момента своего зарождения была наукой теоретической; ее целью было отыскание истины, что определило ряд ее особенностей, оставшихся чуждыми восточной науке».*

Общий духовный скачок, который произошел в Греции в VI – V вв. до н.э., иногда называют «греческим чудом». В течение очень небольшого исторического срока маленькая Эллада стала лидером среди народов средиземноморского бассейна, опередив более древние и могущественные цивилизации Вавилона и Египта.

Этот перелом историки связывают с зарождением такой формы государственного устройства, которая греками же была названа «демократией».

3. Если считать, что наука возникла в тот период, когда была осознана роль опытного знания, то дата рождения науки – период расцвета поздней средневековой культуры Западной Европы (XII – XIV вв.). Оксфордские ученые математики и естествоиспытатели Р. Гроссет, Р. Бэкон, Т. Бардвардин призывают исследователей опираться на опыт, наблюдения, эксперимент, а не на авторитет, предания или философскую традицию. Начинается борьба за освобождение научного мышления от догм аристотелевских воззрений.

4. Если считать, что наука – это умение строить математические модели изучаемых явлений, сравнивать их с опытным материалом, проводить рассуждения посредством мысленного эксперимента, то тогда следует считать, что наука возникла в XVI – XVII вв. в Западной Европе. Так и считает большинство историков науки.

Это эпоха, когда появляются работы И. Кеплера, Х. Гюйгенса, Г. Галилея. Апогеем духовной революции, связанной с появлением науки, являются, конечно, работы Ньютона. Данная точка зрения рождение науки отождествляет с рождением современной физики и необходимого для нее математического ап-

парата. Таким образом, XVI – XVII вв. – период становления современного естествознания (современной науки).

В какой же степени все же правомерно считать современную науку плодом западноевропейской цивилизации?

По этому поводу известный и авторитетный историк науки Э. Цильзель написал следующее: *«Развитая наука появляется только однажды, а именно в современной западной цивилизации. Причем развитие человеческого мышления шло во многих качественных направлениях, где научное является лишь одной из ветвей».*

Дж. Нидам, исследователь науки Древнего и Средневекового Китая, написал следующее: *«...то, что мы можем назвать по-настоящему современной наукой, в самом деле, возникло только в Западной Европе во времена «научной революции» XV – XVI столетий и достигло зрелой формы в XVII столетии. Но это далеко не вся история и упоминать только об этой части было бы несправедливо по отношению к другим цивилизациям».*

Достижения древних и средневековых восточных цивилизаций на самом деле огромны. Эти достижения впитали западные цивилизации и, естественно, наука, возникавшая там. Очевидно причины того, что «современная наука возникла на европейской окраине старого мира» следует искать в изучении социальных аспектов бытия науки, анализе социально-культурных предпосылок, в которых нуждается ее развитие.

В развитии науки велика роль арабского мира. Именно арабы явились учителями и воспитателями латинского Запада. Первые переводы греческих философских и научных трудов на латинский язык были осуществлены не непосредственно с греческого, а с их арабских версий, и это произошло не только потому, что на Западе уже не было больше людей, знающих древнегреческий язык, но главным образом потому, что не было никого, способного понять такие трудные книги как «Физика» или «Метафизика» Аристотеля или «Альмагест» Птолемея. Для того, чтобы понять Аристотеля или Платона, недостаточно

знать древнегреческий, надо знать еще и философию. Латинская же языческая античность философии не знала.

Можно сделать вывод, что ни один географический регион, ни один конкретный народ не может в полной мере считать себя единственным создателем современной науки. Наука глубоко наднациональна и способна впитать завоевания любых эпох и народов.

В XVII в. наука оформляется в социальный институт. В 1660 г. появилось Лондонское Королевское общество естествоиспытателей, утвержденное Королевской хартией в 1662 г. В 1666 г. была создана Парижская академия наук. Эти учреждения знаменовали собой общественное признание науки в виде «позитивной экспериментальной философии». Впервые были сформулированы определенные научные нормы и установлены требования их соблюдения. Наука этого периода была оторвана от образования: естествоиспытатель XVII в. был любителем. Лондонское Королевское общество объединяло ученых-любителей в добровольную организацию с определенным уставом, который был санкционирован королем. Наука того времени сама резко отграничила себя от других феноменов культуры и их ценностей, т.е. от религии, морали, образования. Только эти гарантии невмешательства дали ей возможность выжить на арене социального действия того времени.

Современную науку называют «большой наукой». Около 90% всех ученых, когда-либо живших на земле, являются нашими современниками.

Происходит интенсивный рост научной информации. В XX столетии мировая информация удваивалась за 10-15 лет. Свыше 90% всех научно-технических достижений приходится на XX век.

Наука сегодня охватывает огромную область знаний. Она включает около 15 тысяч дисциплин (рис. 1). Современная наука изучает все, даже саму себя. Вместе с тем ученые сегодня вовсе не считают, что они постигли все тайны мироздания.

3. Историческая обусловленность фундаментальных открытий

Выдвижение новых фундаментальных принципов всегда связывалось с деятельностью гениев, с озарением, с какими-то тайными характеристиками человеческой психики.

Обращаясь к истории науки, мы видим, что такого рода открытия действительно осуществляются незаурядными людьми. Вместе с тем обращает на себя внимание тот факт, что многие из них делались независимо друг от друга несколькими учеными практически в одно и то же время.

Пример 1. Две тысячи лет люди бились над проблемой пятого постулата геометрии Евклида. И «вдруг» в течение буквально 10 лет ее разрешает сразу десяток людей. Среди них Н.И. Лобачевский, Ф. Гаусс, Я. Больяи.

Пример 2. Идеи об эволюции органического мира были высказаны почти одновременно Ч. Дарвином и молодым ученым А. Уоллесом.

Пример 3. Специальная теория относительности, как известно, носит имя А. Эйнштейна. Но в том же 1905 г. подобные результаты были опубликованы А. Пуанкаре.

Пример 4. Менделевская генетика была переоткрыта в 1900 г. одновременно и независимо друг от друга тремя учеными – Э. Чермаком, К. Корренсом и Г. Де Фризом.

Все это говорит о том, что фундаментальные открытия совершаются не случайно, что имеется их историческая обусловленность, которая заключается в том, что фундаментальные открытия всегда возникают в результате решения фундаментальных проблем.

А под фундаментальными проблемами понимаются такие вопросы, которые касаются наших общих представлений о действительности, ее познании, о системе ценностей, руководящей нашим поведением.

Ошибочно трактовать фундаментальные открытия как решения частных задач и не связывать их с фундаментальными проблемами.

4. Псевдонаука как имитация научной деятельности

В момент зарождения науки возникла ее тень – псевдонаука, или лженаука. Учитывая хотя бы то, что астрономия выросла из астрологии, а химия из алхимии, и то, что в настоящее время астрология и алхимия могут рассматриваться как лженауки, можно представить значение лженаук в познании человеком окружающего мира и сложность взаимоотношения науки с лженауками.

Кроме того, на протяжении истории развития науки были случаи, когда новое знание остро отвергалось и осмеивалось как ненаучное, а затем, через десятилетия, признавалось как важнейшее открытие, изменяющее научную картину мира. Поэтому, ставя клеймо на что-то «непонятное, не вписывающееся в рамки существующих воззрений», следует быть осторожным в суждениях.

В данном разделе пособия будет дано определение понятия «лженаука» (псевдонаука), выделены отличительные черты лженауки, а также кратко охарактеризованы некоторые лженаучные направления.

«Лженаука – это такая теоретическая конструкция, содержание которой, как удастся установить в ходе независимой научной экспертизы, не соответствует ни нормам научного знания, ни какой-либо области действительности, а ее предмет либо не существует в принципе, либо существенно сфальсифицирован» (доктор философских наук В. Кувакин).

Главное отличие псевдонауки от науки – это некритичное использование новых непроверенных методов, сомнительных и зачастую ошибочных данных и сведений, а также отрицание возможности опровержения, тогда как наука основана на фактах (проверенных сведениях), верифицируемых методах и постоянно развивается, расставаясь с опровергнутыми теориями и предлагая новые.

Характерные черты псевдонаучной теории

1. Игнорирование или искажение фактов, известных автору теории, но противоречащих его построениям.

2. Нефальсифицируемость, то есть невозможность поставить эксперимент (хотя бы мысленный).

3. Отказ от попыток сверить теоретические выкладки с результатами наблюдений при наличии такой возможности.

4. Использование в основе теории недостоверных данных, недоказанных положений, данных, возникших в результате вычислительных ошибок.

5. Введение в публикацию или обсуждение научной работы политических и религиозных установок.

Таким образом, псевдонаука игнорирует важнейшие элементы научного метода – экспериментальную проверку и исправление ошибок. Отсутствие этой отрицательной обратной связи лишает псевдонауку связи с объектом исследования, и превращает ее в неуправляемый процесс, сильно подверженный накоплению ошибок.

Необязательные, но часто встречающиеся признаки лженаучных теорий

1. Теория создается одним человеком или небольшой группой людей, как правило, не специалистов.

2. Отсутствуют публикации в рецензируемых научных периодических изданиях.

3. Теория претендует на объяснение буквально всего мироздания, из базовых положений делается огромное количество выводов.

4. Автор активно использует теорию для ведения личного бизнеса: продает литературу по теории, оказывает платные услуги, основанные на ней, рекламирует и проводит платные «курсы», «тренинги», «семинары» и т.п.

5. В статьях, книгах, рекламных материалах автор выдает теорию за абсолютно доказанную и несомненную истину.

6. Апелляция к широкой прессе или к телевидению, а не к научному сообществу.

7. Претензия на «революционный» переворот в науке и технологиях.

8. Использование в текстах понятий, означающих феномены, не фиксируемые наукой (тонкие поля, торсионные поля, биоинформационные поля, энергия ауры и т.п.).

9. Обещание быстрых и баснословных медицинских, экономических, финансовых, экологических и иных эффектов.

Следует заметить, что существует и постоянно появляется множество теорий и гипотез, которые могут показаться псевдонаучными по ряду причин:

новый, непривычный формализм (язык теории);

фантастичность следствий из теории;

отсутствие или противоречивость экспериментальных подтверждений, например, из-за недостаточной технологической оснащенности;

отсутствие информации или знаний, необходимых для понимания;

конформизм того, кто оценивает теорию.

Но если теория реально допускает возможность ее *независимой* проверки, то это не может называться лженаукой, какой бы ни была «степень бредовости» (по Нильсу Бору) этой теории. Некоторые из таких теорий могут стать «прото-науками», породив новые направления исследований и новый язык описания действительности.

С другой стороны, «степень бредовости» теории или ее «непризнанность» еще не являются достаточным признаком ее новизны и научности, хотя многие псевдоученые склонны апеллировать к этому.

Классификация псевдонаучных направлений

Отнесение каких-либо отраслей человеческой деятельности к псевдонауке происходит постепенно, по мере развития человечества и отхода от устаревших воззрений. Так, некоторые эмпирические учения прошлого достигли определенных результатов, но на сегодняшний момент являются элементами оккультизма, например:

алхимия дала начало развитию химии, и должна рассматриваться как исторический этап ее развития;

астрология дала начало астрономии;

нумерология, возникшая в период бурного расцвета философии, математики и астрологии, дала начало некоторым идеям теории чисел.

По сути, это протонауки прошлого, предшественницы современной науки. *Псевдонаучными сегодня являются попытки, игнорируя факты, использовать их как адекватную замену современной науки, использование их почтенного возраста в качестве оценки их истинности, а тем более научности.*

С другой стороны, существуют «науки», которые появились как некорректные попытки основать новую, альтернативную науку. Рассмотрим некоторые из них.

Уфология – деятельность по сбору сообщений о наблюдении неопознанных летающих объектов, по установлению достоверности их, а также всевозможные попытки дать им научное объяснение.

Комиссия по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований при Президиуме Российской академии наук однозначно определяет уфологию как лженауку.

Астрология – группа доктрин о воздействии небесных тел на земной мир и человека (на его темперамент, характер, поступки и будущее); это воздействие определяется положением небесных тел на небесной сфере и их взаимным расположением относительно друг друга.

Астрология является типичным лженаучным учением и разновидностью гадательной магии. При этом наука признает, что на определенном этапе своего развития астрология объективно стимулировала развитие наблюдательной астрономии, математики, метеорологии и других областей знания.

Биоэнергетика – нетрадиционная медицина, не получившая всеобщего признания у врачей. Основная причина – отсутствие четких правил, большая доля субъективности в выборе и применении данных методов, плохая воспроизводимость результатов в руках разных специалистов.

Парапсихология – дисциплина, которая направлена на исследование существования и причины психических способностей людей и животных, феноменов жизни после смерти с помощью научной методологии.

Публичной критикой псевдонаук в России занимается Комиссия по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных идей.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите и раскройте особенности науки.
2. Почему настоящей наукой математика стала только у древних греков?
3. Прочитайте следующее утверждение «ученый, выдвигая гипотезу, ищет не столько ее подтверждения, сколько опровержения» и ответьте на вопросы: как он это делает и для чего? Есть ли связь этого утверждения с научной этикой?
4. Можно ли утверждать, что теория эволюции органического мира никогда не была бы создана, если бы на свете не было Ч. Дарвина?
5. Что является продуктом науки?
6. Какая связь существует между эмпирическим и теоретическим уровнями познания?
7. Когда и где наука становится социальным институтом?
8. Роль арабского мира в развитии европейской науки.
9. Классификация современных наук.
10. Основные отличия науки от псевдонауки.
11. Назовите известные вам лженаучные направления, области их исследования, причины отнесения их к лженаукам.
12. Можно ли назвать научными: открытие структуры ДНК Д. Уотсоном и Ф. Криком и утверждения о связи судьбы человека с положением небесных светил в момент его рождения?
13. Можно ли назвать научными: работу, которую проводил Г. Мендель с гибридами гороха, и представления о том, что жизнь была занесена на нашу Землю космическими пришельцами?

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

НАУЧНЫЙ МЕТОД

1. Классификация методов научного познания

Понятие «метод» (от греч. «методос» – путь к чему-либо) означает совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности.

Метод вооружает человека системой принципов, требований, правил, руководствуясь которыми он может достичь намеченной цели. Владение методом означает для человека знание того, каким образом, в какой последовательности совершать те или иные действия для решения тех или иных задач, и умение применять это знание на практике.

Учение о методе начало развиваться в науке Нового времени. Ее представители считали правильный метод ориентиром в движении к надежному, истинному знанию.

Методы научного познания принято подразделять по степени их общности, т.е. по широте применимости в процессе научного исследования.

Всеобщих методов в истории познания известно два: *диалектический* и *метафизический*. Это общефилософские методы. Метафизический метод с середины XIX в. начал все больше и больше вытесняться из естествознания диалектическим методом.

Вторую группу методов познания составляют **общенаучные методы**, которые используются в самых различных областях науки, т.е. имеют весьма широкий междисциплинарный спектр применения. Классификация общенаучных методов тесно связана с понятием уровней научного познания.

Различают два уровня научного познания: *эмпирический* и *теоретический*. Одни общенаучные методы применяются только на эмпирическом уровне (наблюдение, эксперимент, измерение), другие – только на теоретическом (идеализация, формализация), а некоторые (например, моделирование) – как на эмпирическом, так и на теоретическом уровнях.

К третьей группе методов научного познания относятся методы, используемые только в рамках исследования какой-то конкретной науки или какого-то конкретного явления. Такие методы называются **частнонаучными**. Каждая частная наука (биология, химия, геология и т.д.) имеет свои специфические методы исследования. Частнонаучные методы тесно связаны с общенаучными методами и с всеобщим диалектическим методом, который как бы преломляется через них (рис. 2).

Любой метод сам по себе еще не предопределяет успеха в познании тех или иных сторон материальной действительности. Важно умение правильно применять научный метод в процессе познания.

2. Характеристика научных методов в естествознании

Наблюдение есть чувственное (преимущественно – визуальное) отражение предметов и явлений внешнего мира. Это исходный метод эмпирического познания, позволяющий получить некоторую первичную информацию об объектах окружающей действительности.

Научное наблюдение (в отличие от обыденных, повседневных наблюдений) характеризуется рядом особенностей: целенаправленностью, планомерностью, активностью.

Научные наблюдения всегда сопровождаются описанием объекта познания; классификацией их по каким-то свойствам, характеристикам и т.п.

Наблюдение как метод познания более или менее удовлетворяло потребности наук, находящихся на описательно-эмпирической ступени развития. Дальнейший прогресс научного познания был связан с переходом многих наук к следующей, более высокой ступени развития, на котором наблюдения дополнялись экспериментальными исследованиями, предполагающими целенаправленное воздействие на изучаемые объекты.

Эксперимент – более сложный метод эмпирического познания по сравнению с наблюдением. Он предполагает активное, целенаправленное и строго контролируемое воздействие исследователя на изучаемый объект для выявления и изучения тех или иных его сторон, свойств, связей. При этом экспериментатор может преобразовывать исследуемый объект, создавать искусственные условия его изучения, вмешиваться в естественное течение процессов.

Эксперимент включает в себя другие методы эмпирического исследования (наблюдение, измерение). В то же время он обладает рядом важных, присущих только ему особенностей.

1. Эксперимент позволяет изучать объект в «очищенном» виде, т.е. устранять всякого рода побочные факторы, наложения, затрудняющие процесс исследования.

2. В ходе эксперимента объект может быть поставлен в некоторые искусственные, в частности экстремальные, условия.

3. Изучая какой-то процесс, экспериментатор может вмешиваться в него, активно влиять на его протекание.

4. Важным достоинством экспериментов является их воспроизводимость.

Измерение – процесс, заключающийся в определении количественных значений тех или иных свойств, сторон изучаемого объекта, явления с помощью специальных технических устройств.

Важной стороной процесса измерения является методика его проведения. Она представляет собой совокупность приемов, использующих определенные принципы и средства измерений.

Результат измерения получается в виде некоторого числа единиц измерения. *Единица измерения* – это эталон, с которым сравнивается измеряемая сторона объекта или явления.

Вопрос об обеспечении единообразия в измерении величин, отражающих те или иные явления материального мира, всегда был очень важным. Отсутствие такого единообразия порождало существенные трудности для научного познания.

Например, до 1880 г. включительно не существовало единства в измерении электрических величин: использовалось 15 различных единиц электрического сопротивления, 8 единиц электродвижущей силы, 5 единиц электрического тока и т.д. Сложившееся положение сильно затрудняло сопоставление результатов измерений и расчетов, выполненных различными исследователями. Остро ощущалась необходимость введения единой системы электрических единиц. Такая система была принята первым международным конгрессом по электричеству, состоявшимся в 1881 г.

В настоящее время в естествознании действует преимущественно Международная система единиц (СИ), принятая в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам. Международная система единиц построена на базе 7 основных (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль) и двух дополнительных (радиан, стерадиан) единиц.

Международная система единиц физических величин является наиболее совершенной и универсальной из всех существовавших до настоящего времени. Она охватывает физические величины механики, термодинамики, электродинамики и оптики, которые связаны между собой физическими законами.

С прогрессом науки продвигается вперед и измерительная техника. Наряду с совершенствованием измерительных приборов, работающих на основе традиционных, утвердившихся принципов, происходит переход на принципиально новые конструкции измерительных устройств, обусловленные новыми теоретическими предпосылками. В последнем случае создаются приборы, в которых находят реализацию новые научные достижения.

Абстрагирование заключается в мысленном отвлечении от каких-то — менее существенных — свойств, сторон, признаков изучаемого объекта с одно-

временным выделением, формированием одной или нескольких сторон, свойств, признаков этого объекта. Результат, получаемый в процессе абстрагирования, именуют *абстракцией* (или используют термин *абстрактное* – в отличие от конкретного).

Переход от чувственно-конкретного к абстрактному всегда связан с известным упрощением действительности. Вместе с тем, восходя от чувственно-конкретного к абстрактному, теоретическому, исследователь получает возможность глубже понять изучаемый объект, раскрыть его сущность.

Идеализация – особый вид абстрагирования. Идеализация представляет собой мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследований. В результате таких изменений могут быть, например, исключены из рассмотрения какие-то свойства, стороны, признаки объектов. Так, широко распространенная в механике идеализация, именуемая материальной точкой, подразумевает тело, лишенное всяких размеров.

Целесообразность использования идеализации определяется следующими обстоятельствами.

1. Идеализация целесообразна тогда, когда подлежащие исследованию реальные объекты достаточно сложны для имеющихся средств теоретического, в частности математического, анализа.

2. Идеализацию целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо исключить некоторые свойства, связи исследуемого объекта, без которых он существовать не может, но которые затемняют существо протекающих в нем процессов. Сложный объект представляется как бы в «очищенном» виде, что облегчает его изучение.

3. Идеализацию целесообразно использовать тогда, когда исключаемые из рассмотрения свойства, стороны, связи изучаемого объекта не влияют в рамках данного исследования на его сущность.

Будучи разновидностью абстрагирования, идеализация допускает элемент чувственной наглядности (обычный процесс абстрагирования ведет к образованию мысленных абстракций, не обладающих никакой наглядностью).

Мысленный эксперимент предполагает оперирование идеализированным объектом (замещающим в абстракции объект реальный), которое заключается в мысленном подборе тех или иных положений, ситуаций, позволяющих обнаружить какие-то важные особенности исследуемого объекта. В этом проявляется определенное сходство мысленного (идеализированного) эксперимента с реальным.

В реальном эксперименте приходится считаться с реальными физическими или иными ограничениями его проведения, с невозможностью в ряде случаев устранить мешающие ходу эксперимента воздействия извне, с искажением в силу указанных причин получаемых результатов. В этом плане мысленный эксперимент имеет явное преимущество перед экспериментом реальным. В мысленном эксперименте можно абстрагироваться от действия нежелательных факторов, проведя его в идеализированном, «чистом» виде.

Формализация – особый подход в научном познании, который заключается в использовании специальной символики, позволяющей отвлечься от изучения реальных объектов, от содержания описывающих их теоретических положений и оперировать вместо этого некоторым множеством символов (знаков).

Для построения любой формальной системы необходимо:

задание алфавита, т.е. определенного набора знаков;

задание правил, по которым из исходных знаков этого алфавита могут быть получены «слова», «формулы»;

задание правил, по которым от одних слов, формул данной системы можно переходить к другим словам и формулам (так называемые правила вывода).

В результате создается формальная знаковая система в виде определенного искусственного языка. Важным достоинством этой системы является возможность проведения в ее рамках исследования какого-либо объекта чисто формальным путем (оперирование знаками) без непосредственного обращения к этому объекту.

Другое достоинство формализации состоит в обеспечении краткости и четкости записи научной информации, что открывает большие возможности для оперирования ею.

Математические описания различных объектов, процессов являются ярким примером формализации. При этом используемая математическая символика не только помогает закрепить уже имеющиеся знания об исследуемых объектах, но и выступает своего рода инструментом в процессе дальнейшего их познания.

Но расширяющееся использование формализации как метода теоретического познания связано не только с развитием математики. В химии, например, соответствующая химическая символика вместе с правилами оперирования ею явилась одним из вариантов формализованного искусственного языка.

Возможность представить те или иные теоретические положения науки в виде формализованной знаковой системы имеет большое значение для познания. Но при этом следует иметь в виду, что формализация той или иной теории возможна лишь при учете ее содержательной стороны. Только в этом случае могут быть правильно применены те или иные формализмы. Голое математическое уравнение еще не представляет физической теории; чтобы получить физическую теорию, необходимо придать математическим символам конкретное эмпирическое содержание.

Индукция — движение нашего мышления от частного, единичного к общему. Индукция широко применяется в научном познании. Обнаруживая сходные признаки и свойства у многих объектов определенного класса, исследователь делает вывод о присущности этих признаков, свойств всем объектам дан-

ного класса. Например, в процессе экспериментального изучения электрических явлений использовались проводники тока, выполненные из различных металлов. На основании многочисленных единичных опытов сформировался общий вывод об электропроводности всех металлов.

Родоначальником классического индуктивного метода познания является Ф. Бэкон. Но он трактовал индукцию чрезвычайно широко, считал ее важнейшим методом открытия новых истин в науке, главным средством научного познания природы (всеиндуктивизм).

Однако индукцию нельзя рассматривать изолированно от других методов познания, в частности от дедукции.

Дедукция – движение нашего мышления от общего к частному, единичному. Например, из общего положения, что все металлы обладают электропроводностью, можно сделать дедуктивное умозаключение об электропроводности конкретной медной проволоки (зная, что медь – металл). Если исходные общие положения являются установленной научной истиной, то методом дедукции всегда будет получен истинный вывод.

Получение новых знаний посредством дедукции существует во всех естественных науках, но особенно большое значение дедуктивный метод имеет в математике. В науке Нового времени пропагандистом дедуктивного метода познания был видный математик и философ Р. Декарт. Дедуктивная методология Декарта была прямой противоположностью эмпирическому индуктивизму Бэкона.

Индукция и дедукция не применяются как изолированные, обособленные друг от друга методы. Каждый из них используется на соответствующем этапе познавательного процесса.

Подчеркивая необходимую связь индукции и дедукции, Ф. Энгельс настоятельно советовал ученым: «Вместо того, чтобы односторонне превозносить одну из них до небес за счет другой, надо стараться каждую применять на сво-

ем месте, а этого можно добиться лишь в том случае, если не упускать из виду их связь между собой, их взаимное дополнение друг друга».

Анализ. Под анализом понимают разделение объекта (мысленно или реально) на составные части с целью их отдельного изучения. В качестве таких частей могут быть использованы какие-то вещественные элементы объекта или же его свойства, признаки, отношения и т.п.

Анализ – необходимый этап в познании объекта. С древнейших времен анализ применялся, например, для разложения на составляющие некоторых веществ. В частности, уже в Древнем Риме анализ использовался для проверки качества золота и серебра в виде так называемого купелирования (анализируемое вещество взвешивалось до и после нагрева). Анализ занимает важное место в изучении объектов материального мира. Но он составляет лишь первый этап процесса познания.

Синтез. Осуществить второй этап в процессе познания – перейти от изучения отдельных составных частей объекта к изучению его как единого связанного целого – можно только в том случае, если метод анализа дополняется другим методом – синтезом.

В процессе синтеза производится соединение воедино составных частей (сторон, свойств, признаков и т.п.) изучаемого объекта, расчлененных в результате анализа. На этой основе происходит дальнейшее изучение объекта, но уже как единого целого.

Анализ и синтез с успехом используются в сфере мыслительной деятельности человека, т.е. в теоретическом познании. Но и здесь, как на эмпирическом уровне познания, анализ и синтез – это не две оторванные друг от друга операции. По своему существу они – как бы две стороны единого аналитико-синтетического метода познания.

Аналогия. Под аналогией понимается подобие, сходство каких-то свойств, признаков или отношений у различных в целом объектов. Установление сходства (или различия) между объектами осуществляется в результате их сравнения. Таким образом, сравнение лежит в основе метода аналогии.

Если делается логический вывод о наличии какого-либо свойства, признака, отношения у изучаемого объекта на основании его сходства с другими объектами, то этот вывод называют умозаключением по аналогии.

Существуют различные типы выводов по аналогии. Но общим для них является то, что во всех случаях непосредственному исследованию подвергается один объект, а вывод делается о другом объекте. Поэтому вывод по аналогии в самом общем смысле можно определить как перенос информации с одного объекта на другой.

Моделирование – это построение модели, изучение ее и перенос полученных сведений на моделируемый объект – оригинал.

В зависимости от характера используемых в научном исследовании моделей различают несколько видов моделирования.

1. *Мысленное (идеальное) моделирование.* К этому виду моделирования относятся самые различные мысленные представления в форме тех или иных воображаемых моделей. Например, в идеальной модели электромагнитного поля Дж. Максвелла силовые линии представлялись в виде трубок, по которым течет воображаемая жидкость, не обладающая инерцией и сжимаемостью.

2. *Физическое моделирование.* Оно характеризуется физическим подобием между моделью и оригиналом и имеет целью воспроизведение в модели процессов, свойственных оригиналу. Физическое моделирование широко используется для разработки и экспериментального изучения различных сооружений, машин, для лучшего понимания каких-то природных явлений и т.д.

3. *Математическое моделирование* – это описание моделируемого явления на языке математики. В естественных науках принято считать, что любое явление природы может быть правильно понято только после того как оно бу-

дет изучено количественно, т.е. математически. Достоверность сведений, вытекающих из добротной математической модели, бывает настолько высока, что в ряде случаев они являются более надежными, чем результаты соответствующих экспериментов.

4. *Вещественно-математическое моделирование.* Математическое моделирование может применяться в особом сочетании с физическим моделированием. Например, механические колебания могут моделироваться электрическими колебаниями на основе полной идентичности описывающих их дифференциальных уравнений.

5. *Компьютерное моделирование.* В тех случаях, когда может быть построена математическая модель, дополнительную информацию о явлении можно получить в ходе *вычислительного эксперимента* с математической моделью. Вычислительный эксперимент, выполняемый с помощью компьютера, называется компьютерным моделированием.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте эмпирический и теоретический уровни научного познания. Приведите примеры научных методов, лежащих в основе этих уровней.
2. В чем отличие частнонаучных методов от общенаучных?
4. Перечислите особенности научного наблюдения.
5. Чем отличается эксперимент от наблюдения? При изучении каких объектов нельзя использовать эксперимент? Почему?
6. Что мы называем единицей измерения? Приведите примеры единиц измерения из области физики, химии, биологии, астрономии.
7. Почему мировая наука остро нуждалась в единой системе измерения? Когда такая система была принята? На каких единицах она построена?
8. Что такое абстрагирование? Почему переход от чувственно-конкретного к абстрактному позволяет глубже понять изучаемый объект?
9. Что такое идеализация? В каких случаях используют идеализацию?
10. В чем особенность мысленного эксперимента?

11. Что такое формализация? Приведите примеры формализации из области физики, химии, биологии.
12. Индукция и ее использование в научном познании.
13. Дедукция и ее использование в научном познании.
15. Докажите, что анализ и синтез являются как теоретическими, так и эмпирическими методами познания.
15. Почему в основе метода аналогия лежит сравнение?
16. Моделирование и его разновидности.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ЧАСТНОНАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Природу и человека в ней изучает широкая разветвленная сеть наук. Деятельность этих наук базируется на научном методе исследования, но каждая наука имеет свои, необходимые для изучения ее объекта частнонаучные методы. В данном пособии в качестве примеров частнонаучных методов приводятся физические методы исследования в химии; методы исследования в гистологии (биология); методы наблюдения и регистрации элементарных частиц (физика).

1. Физические методы исследования в химии

Под физическими методами обычно понимают многие современные методы, разработанные физиками и используемые в химии.

В основе физического метода лежит взаимодействие падающего излучения, потока частиц или какого-либо поля с веществом и измерение результата этого взаимодействия, который содержит информацию о некотором свойстве исследуемого вещества.

Охарактеризуем в общих чертах наиболее важные физические методы, используемые в химии.

Спектроскопические методы

В большинстве этих методов измеряют зависимость интенсивности излучения, прошедшего через вещество или рассеянного веществом, от частоты излучения. Диапазон частот распространяется на значения от минимальных (10^6 Гц) в ядерном магнитном резонансе до 10^{19} Гц (гамма-излучения). Такой значительный диапазон частот и соответственно длин волн требует различных источников излучения и выявляет различные физические свойства веществ.

К спектроскопическим методам относятся: ядерный магнитный резонанс (ЯМР), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), инфракрасная спектроскопия (ИКС).

ЯМР изучает переходы между уровнями энергии, соответствующими различной ориентации ядерных магнитных моментов, по отношению к внешнему магнитному полю. Энергии таких переходов малы и соответствующие им кванты находятся в радиоволновом диапазоне. Поэтому ЯМР относится к группе методов, которые получили общее название «радиоспектроскопия».

ЯМР является одним из основных методов изучения строения веществ, механизмов химических процессов, одним из самых информативных методов анализа сложных многокомпонентных смесей.

Инфракрасная спектроскопия. Это физический метод качественного и количественного анализа, объектом изучения которого является молекулярный состав вещества. Энергия ИК-области спектра достаточна только для перехода молекулы с колебательного уровня на колебательный и вращательного на вращательный.

После взаимодействия с веществом интенсивность некоторых областей спектра снижается. На спектрограмме возникают полосы поглощения. Полоса поглощения состоит из множества спектральных линий с близкими частотами, так как происходит одновременно ряд вращательных и колебательных переходов.

Положение полос в спектрах помогает установить наличие той или иной функциональной группы в соединении. Таким образом каждое соединение будет иметь свой характерный ИК-спектр.

Дифракционные методы

В этих методах используются волновые свойства излучения и потока частиц электронов (рентгеновских лучей) и нейтронов. В дифракционных методах измеряют зависимость интенсивности рассеянного излучения от угла рассеяния. При этом длина волны после рассеяния не изменяется; имеет место так называемое упругое рассеяние. Наиболее сильно рассеивают электроны (электронография), слабее – нейтроны (нейтронография). Электронография используется для анализа кристаллов. Рентгеноструктурный анализ позволяет определять

координаты атомов в трехмерном пространстве кристаллических веществ. Электронография применяется для исследования тонких пленок, поверхностей и газов.

Оптические методы

Оптическими методами изучают распространение рассеяния и поглощения света в веществе. С помощью оптических методов измеряют: показатель преломления, угол поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света при прохождении через оптически активное вещество, вращающее плоскость поляризации падающего света, и многие другие свойства. Результаты оптических методов используются для идентификации вещества, выявления взаимного влияния атомов в молекуле, расчета поляризуемости молекул и т.п.

Масс-спектро스코пия

В масс-спектроскопии изучают результаты взаимодействия потока электронов, УФ-излучения, ионов на вещество с веществом. Это взаимодействие рождает потоки молекулярных ионов изучаемого вещества. Методом масс-спектроскопии определяют молекулярные массы, идентифицируют вещества, устанавливают химическое строение веществ, изучают теплоты испарения, механизмы химических реакций, энергии разрыва химических связей.

Обычно при изучении веществ в химии используют совокупность методов анализа. Это позволяет максимально полно описать физическое состояние вещества и его химическое строение.

2. Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц

В зависимости от целей эксперимента и условий, в которых он проводится, применяют те или иные регистрирующие устройства, отличающиеся друг от друга по основным характеристикам.

Газоразрядный счетчик Гейгера. Это один из важнейших приборов для автоматического счета частиц. Счетчик состоит из стеклянной трубки, покрытой изнутри металлическим слоем (катод) и тонкой металлической нити, идущей

щей вдоль оси трубки (анод). Трубка заполняется инертным газом. Действие счетчика основано на ударной ионизации. Заряженная частица (электрон, α -частица и т.п.), пролетая в газе, отрывает от атомов электроны и создает положительно заряженные ионы и электроны. Электрическое поле между анодом и катодом ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация. Возникает лавина ионов, и ток через счетчик резко возрастает. Счетчик применяется в основном для регистрации электронов и γ -квантов.

Камера Вильсона. В камере Вильсона быстрая заряженная частица оставляет след, который можно наблюдать непосредственно или сфотографировать. Действие камеры основано на конденсации перенасыщенного пара на ионах с образованием капелек воды. Эти ионы создает вдоль своей траектории движущаяся заряженная частица. Капельки создают видимый след заряженной частицы – трек. По длине трека можно определить энергию частицы, а по числу капелек на единицу длины трека оценивается ее скорость.

Пузырьковая камера. В пузырьковой камере для обнаружения треков частиц используют перегретую жидкость. В такой жидкости на ионах, образующихся при движении быстро заряженной частицы, возникают пузырьки пара, дающие видимый трек.

Треки в камере Вильсона и в пузырьковой камере – один из главнейших источников информации о поведении и свойствах частиц.

Метод толстослойных фотоэмульсий. Фотоэмульсия содержит большое количество микроскопических кристалликов бромида серебра. Быстрая заряженная частица, пронизывая кристаллик, отрывает электроны от отдельных атомов брома. Цепочка таких кристалликов образует скрытое изображение. При проявлении в этих кристалликах восстанавливается металлическое серебро, и цепочка зерен серебра образует трек частицы. По длине и толщине трека можно оценить энергию и массу частицы.

3. Исследование химического состава и метаболизма клеток и тканей

Цито- и гистохимические методы. Эти методы позволяют выявлять локализацию различных химических веществ в структурах клеток, тканей и органов – ДНК, РНК, белков, углеводов, липидов, аминокислот, минеральных веществ, витаминов, активность ферментов. Данные методы основаны на специфичности реакции между химическим реактивом и субстратом, входящих в состав клеточных и тканевых структур, и окрашивании продуктов химических реакций.

Метод радиоавтографии. Этот метод дает возможность наиболее полно изучить обмен веществ в различных структурах. В основе метода лежит использование радиоактивных элементов (например, фосфора – ^{32}P , углерода – ^{14}C , серы – ^{35}S , водорода – ^3H) или меченных ими соединений. Радиоактивные вещества в гистологических срезах выявляются с помощью фотоэмульсии, которую наносят на препарат, а затем проявляют. В участках препарата, где фотоэмульсия соприкасалась с радиоактивным веществом, происходит фотореакция, в результате которой образуются засвеченные участки.

Метод дифференциального центрифугирования. Этот метод основан на применении центрифуг, дающих от 20 до 150 тыс. об/мин. Такие центрифуги позволяют отделять и осаждать различные компоненты клеток – ядра, митохондрии, лизосомы, рибосомы – и определять их химический состав.

Цитоспектрофотометрия – метод количественного изучения внутриклеточных веществ по их абсорбционным спектрам.

Методы микроскопирования гистологических препаратов.

Световая микроскопия. Для изучения гистологических препаратов чаще применяют обычные световые микроскопы, когда в качестве источника освещения используется естественный или искусственный свет. Общее увеличение – до 2500 раз.

Ультрафиолетовая (УФ) микроскопия. В УФ-микроскопе используют УФ-лучи. Полученное в УФ-лучах невидимое глазом изображение преобразуется в видимое с помощью регистрации на фотопластинке.

Фазово-контрастная микроскопия. Этот метод служит для получения контрастных изображений прозрачных и бесцветных объектов, не видимых при обычных методах микроскопирования.

Электронная микроскопия. В электронном микроскопе используется поток электронов с более короткими, чем в световом микроскопе, длинами волн. Электронный микроскоп дает увеличение до 10^6 раз, что позволяет увидеть взаимное расположение компонентов клетки. С помощью обычного электронного микроскопа получают плоскостное изображение изучаемой структуры. Для пространственного представления о структурах используют растровые электронные микроскопы.

Библиографический список

1. Вилков, Л.В. Физические методы исследования в химии // Современное естествознание: Энциклопедия: в 10 т. – М.: МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. – Т. 1. Физическая химия. – С. 225-230.
2. Гистология, цитология и эмбриология / под ред. Ю.И. Афанасьева, Н. А. Юрина. – М. : Медицина, 2002. – 744 с.
3. Концепции современного естествознания / под ред. проф. С.И. Самыгина. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 240 с.
4. Лозовский, В.Н., Лозовский С.В. Концепции современного естествознания. – СПб.: Лань, 2004. – 262 с.
6. Философия современного естествознания : учеб. пособие для вузов / под общ. ред. проф. С.А. Лебедева. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004, – 304 с.

ТЕМА №2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

РАЗВИТИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Пространство и время издавна используются в паре друг с другом, так как и то и другое выражают упорядоченность в нашем мире. Но эти понятия сильно различаются по смыслу: время связано с упорядочением событий, а пространство – с упорядочением существующего.

Время всегда представлялось загадочной сущностью. Загадочность времени связана с его течением, знакомым каждому человеку. Тайна времени тысячелетиями увлекает человеческий разум. Причем в процесс раскрытия тайны времени вовлечены не только наука, но и искусство, философия, теология.

Пространство же обычно представляется более понятным, чем время. Но иногда человек задает себе вопросы, которые его тревожат, – например, нет ли в других размерностях чего-либо, с чем мы, не подозревая, соприкасаемся или является ли Вселенная конечной или бесконечной?

Представление человека о пространстве часто ассоциируется с пространством Вселенной, а время – с проблемой начала мира и его судьбы.

Пространство и время – философские категории, которые, наряду с представлениями о материи, и ее движении, позволяли и позволяют вначале натурфилософам, а затем ученым описывать ту или иную картину мира.

1. Пространство и время в натурфилософской картине мира

Уже в античном мире философы пытались ответить на вопрос, что же такое пространство и время. Некоторые философы считали, что пустого пространства не существует (Аристотель). По мнению других, наряду с материей, существует также и пустота, которая необходима для перемещения и соединения атомов (Демокрит).

В греческой философии берет начало представление о том, что геометрия внутренне присуща природе, а не нашим представлениям о ней. С тех пор на протяжении веков окружающее нас пространство рассматривалось как абстрактно-геометрическое.

В оценке времени, его значения и роли в мире античные философы тоже были не всегда единодушны. Одни видели во времени первооснову мира и всех реальных вещей в нем; другие считали, что самым важным является то, что не зависит от времени и не подвержено его течению.

В натурфилософской картине мира пространство и время были конечными и ограниченными сферой неподвижных звезд. Эти представления были обоснованы философией Аристотеля. Форму и протяженность космоса Аристотель связал с учением о 4-х элементах. Его мир имеет форму шара с большим, но конечным радиусом. За последней сферой мира пребывает только перводвижитель (Бог). За границей последней сферы не существует ничего, даже пустоты. Согласно Аристотелю пространство – это занимаемое телом место. Но место есть граница другого тела, обнимающего данное тело. Поэтому, если за пределами мира не существует никаких тел, то это значит, что там не существует ни места, ни пространства.

Мир включает в себя не только всё пространство, но и всё время. Само по себе время – мера движения. А так как за пределами мира нет движения, то там нет и времени.

2. Субстанциональная и реляционная концепции

По мере развития науки в естествознании сложились два подхода к пространству и времени: субстанциональная концепция и реляционная концепция.

Субстанциональная концепция. Пространство и время самостоятельно существуют наряду с материей. Пространство – это чистая протяженность, а время – чистая длительность. Материальные предметы как бы погружены в пространство и время. Свое всестороннее развитие и завершение субстанцио-

нальная концепция пространства и времени получила у Ньютона и в классической физике в целом.

Реляционная концепция. Впервые четко она была сформулирована Г. Лейбницем. Он писал, что без материи нет пространства и, что пространство само по себе не представляет собой абсолютной реальности.

С точки зрения реляционной концепции пространство и время – не особые субстанциональные сущности, а формы существования материальных объектов. Пространство выражает сосуществование объектов, время – последовательность их состояний.

Реляционная концепция в естественнонаучном плане была воспринята и развита релятивистской физикой и в настоящее время наиболее полно отвечает уровню развития естествознания.

С позиции субстанциональной и реляционной концепций рассмотрим представления о пространстве и времени, сформировавшиеся в механистической картине мира и картине мира, сложившейся под влиянием теории относительности А. Эйнштейна (современной картине мира).

3. Пространство и время в естественнонаучных картинах мира

Пространство и время в механистической картине мира

В механистической картине мира пространство рассматривалось как трехмерное, однородное и изотропное, не зависящее от находящихся в нем материальных тел и подчиняющееся евклидовой геометрии; а время – как однородное и одномерное, то есть как независимое измерение. Такое пространство И. Кант рассматривал как эмпирическую реальность, априорную по отношению к опыту.

Но уже И. Ньютон подразумевал два вида пространства: относительное, с которым люди встречаются путем измерения пространственных соотношений между телами, и абсолютное.

Абсолютное пространство не зависит от материальных объектов. Пространство считалось бесконечным, плоским, прямолинейным, неподвижным. Его метрические свойства описывались геометрией Евклида. Оно рассматривалось как абсолютно пустое и однородное и выступало в качествеместилища материальных тел. Аналогично абсолютному пространству Ньютон мыслил и абсолютное время.

Абсолютное время протекает равномерно и не относится к чему-либо внешнему. Оно идет сразу и везде во всей Вселенной «единообразно и синхронно» (как будто над Вселенной подвешены часы).

Представления об абсолютных пространстве и времени привели к **концепции дальнего действия**, согласно которой силы распространяются в пустом пространстве с бесконечной скоростью, мгновенно.

Пространство и время в современной естественнонаучной картине мира

Представления о пространстве и времени в современной естественнонаучной картине мира основываются на теории относительности А. Эйнштейна. Согласно этой теории пространство и время относительны, т. е. связаны друг с другом, а также с материей и ее движением. Пространство и время под действием движущейся материи могут сжиматься, растягиваться, а пространство – и искривляться. Пространство является конечным и безграничным; время имеет начало и конец (начало связано с моментом рождения Вселенной, а конец с окончанием существования материи в образе данной Вселенной).

В таком пространстве передача взаимодействий происходит с конечной скоростью согласно концепции ближнего действия.

4. Свойства пространства и времени

К свойствам пространства и времени можно отнести следующие:

1. Пространство и время объективны и реальны, т.е. существуют независимо от сознания людей и познания ими этой объективной реальности. Просто человек все более углубляет свои знания о ней.

2. Пространство и время являются универсальными всеобщими формами бытия материи. Нет явлений, событий, предметов, которые существовали бы вне пространства или вне времени.

3. Пространство трехмерно. Трехмерность пространства представляет эмпирически констатируемое фундаментальное его свойство, которое выражается в том, что положение любого предмета может быть точно определено только с помощью трех независимых величин – координат. Например, в прямоугольной декартовой системе координат это X , Y , Z , величины называемые длиной, шириной и высотой.

Наряду с понятием трехмерного пространства в науке широко используется понятие многомерного (n - мерного) пространства. Это математическая абстракция, которая не имеет никакого отношения к реальному пространству.

Почему же реальное пространство трехмерно – неизвестно. Хотя имеются различные гипотезы.

4. Время одномерно и необратимо. Одномерность его означает, что для фиксации положения объекта (события) во времени достаточно одной величины – промежутка времени t , протекшего от некоторого начала отсчета времени $t=0$. Важнейшей чертой времени является его необратимость. Пространство «обратимо» в том смысле, что в любую его точку можно попасть и дважды и трижды и т.п. Во времени это невозможно – оно необратимо течет из прошлого через настоящее к будущему. Нельзя возвратиться назад, но и нельзя перескочить через временной промежуток в будущее.

Необратимость времени в макроскопических процессах можно объяснить с помощью закона возрастания энтропии (второй закон термодинамики). Процессы, в которых энтропия увеличивается, называются необратимыми, в которых она остается постоянной – обратимыми. Обратимые процессы – это идеальный, предельный случай; реально происходящие в природе процессы обратимы лишь с очень малой степенью вероятности (т.е. необратимы). Для микромира вопрос необратимости времени решается с помощью квантовой механики. Известные российские физики Л.Д. Ландау и Е.М. Лившиц указывают, что, не-

смотря на симметричность уравнения Шредингера (основное уравнение квантовой механики) по отношению к изменению знака времени, квантовая механика содержит в себе физическую неэквивалентность двух направлений времени, связанную с взаимодействием квантового объекта с классическим объектом. Именно это взаимодействие приводит к появлению различия между прошлым и будущим.

5. Пространство однородно и изотропно. Время – однородно.

Однородность пространства означает равноправие всех его точек, отсутствие каких-либо выделенных точек.

Изотропность пространства означает равноправие всех возможных направлений.

Однородность времени проявляется в равноправии всех моментов времени.

5. Связь пространства и времени с законами сохранения

Однородность пространства и времени и изотропность пространства выражают фундаментальные свойства мира и связаны с законами сохранения. В начале XX в. была сформулирована так называемая теорема Эмми Нётер, согласно которой наличие в системе симметрии обуславливает существование сохраняющейся для нее физической величины.

Под симметрией понимается неизменность структуры материального объекта относительно его преобразований. Однородность пространства и времени и изотропность пространства означают, что пространство и время обладают элементами симметрии:

а) однородность времени – это неизменность по отношению к сдвигам во времени, т.е. изменению начала отсчета;

б) однородность пространства – это неизменность по отношению к сдвигам в пространстве, т.е. к переносу начала координат;

в) изотропность пространства – это неизменность по отношению к повороту осей системы координат в пространстве.

Из вышесказанного вытекают наиболее фундаментальные законы сохранения:

а') симметрии относительно сдвига во времени соответствует **закон сохранения энергии**;

б') симметрии относительно пространственного сдвига соответствует **закон сохранения импульса**;

в') симметрии относительно поворота координатных осей соответствует **закон сохранения момента импульса**.

Теорема Нётер, таким образом, показывает, что пространство и время действительно являются формами существования материи, их свойства находят свое выражение в фундаментальных законах, определяющих течение материальных процессов.

Однородность и изотропность пространства лежат в основе принципа относительности Галилея и в основе специальной теории относительности Эйнштейна.

6. Представление о пространстве и времени в основных физических теориях XIX – XX вв.

В рамках любой физической теории обычно конструируется представление о пространстве и времени. Поэтому при смене теорий должна происходить реконструкция представлений об этих сущностях.

Основные физические теории XIX в:

классическая физика (ньютоновская механика, электродинамика Максвелла, равновесная термодинамика).

Основные физические теории XX в.:

специальная и общая теории относительности (СТО и ОТО), квантовая теория, неравновесная термодинамика, квантовая теория поля.

Рассмотрим, как представляются пространство и время в вышеперечисленных теориях.

Пространство и время в классической физике

Понятия пространства и времени, выработанные в классической физике, представляют, с одной стороны, результат обобщения повседневного опыта, с другой, – следствие научного анализа простейших механических движений. Развитие механики поэтому теснейшим образом связано с определенным пониманием пространства и времени.

Основным законом классической механики является второй закон Ньютона, связывающий силу, действующую на тело, с приобретаемым телом ускорением. Для описания механического движения необходимо измерение координат движущегося тела, что требует введения понятия «тело отсчета», с которым связывается система координат, образуя систему отсчета.

Возник вопрос: для всякой ли системы отсчета будет справедлив основной закон механики? Оказалось, что второй закон механики сохраняется в инерциальных системах отсчета (движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно). В неинерциальных системах отсчета (движущихся с ускорением; вращающихся) при переходе от одной системы отсчета к другой в закон Ньютона необходимо вводить добавочные силы, так называемые силы инерции.

Таким образом, законы Ньютона справедливы для всех инерциальных систем. Это утверждение составляет содержание **принципа относительности Галилея**. Согласно этому принципу невозможно никакими наблюдениями над движениями тел в системе, движущейся равномерно и прямолинейно, обнаружить движение этой системы. Система отсчета, которая покоится или движется равномерно и прямолинейно, называется инерциальной. Поэтому другая формулировка принципа относительности Галилея: уравнения механики не изменяются при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.

В период обоснования классической механики перед ее творцами неизбежно вставал вопрос: а существуют ли вообще инерциальные системы? На Земле с достаточной точностью соблюдается закон инерции, но Земля система неинерциальная – она вращается вокруг Солнца и вокруг своей оси. Строго го-

воря, неинерциальной системой является также Солнце, так как оно вращается вокруг центра Галактики. Поиски абсолютно инерциальной системы отсчета привели к понятию абсолютного пространства. Оно представлялось совершенно неподвижным, а связанная с ним система отсчета – строго инерциальной.

В своих «Математических началах натуральной философии» И. Ньютон писал:

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

2. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным».

Ньютон отдавал себе ясный отчет, что фактически воспринимаются всегда относительные пространство и время, и относительное движение. Однако это не опровергало в его глазах наличия абсолютных пространства и времени, так как невозможность их непосредственного обнаружения в эксперименте объяснялась как раз принципом относительности.

Пространство-время в специальной теории относительности

В классической механике пространственно-временные представления нашли математическое выражение в принципе относительности, сформулированном как принцип неизменности законов механики относительно преобразований Галилея.

После открытия электромагнитных явлений была предпринята попытка распространить принцип относительности Галилея на уравнения классической электродинамики Максвелла. Но оказалось, что уравнения Максвелла не сохраняются при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую, если использовать преобразования Галилея. Следовательно, нужна иная группа преобразований. Эта группа преобразований была найдена в конце XIX в. Г. Ло-

ренцем и получила название преобразований Лоренца. Эти преобразования образуют математическую основу специальной теории относительности.

Из преобразований Лоренца следуют важнейшие выводы об относительности длины и временного промежутка, а именно: в движущихся системах размеры уменьшаются, а время замедляется. Таким образом, согласно теории относительности длина и промежуток времени перестают быть характеристиками объектов сами по себе, они становятся относительными, выражающими отношения объектов друг к другу. Длина не есть характеристика тела самого по себе, как считала классическая физика, она выражает отношение тела к системе отсчета и имеет смысл лишь в связи с той или иной системой отсчета. То же самое можно сказать о временном промежутке. Зависимость длины и временного промежутка от системы отсчета становится заметной лишь при околосветовых скоростях, и поэтому нам так трудно освободиться от иллюзии абсолютной длины и абсолютного времени.

Недоступная непосредственному наблюдению внутренняя сущность пространства и времени заключается в их объединении в единый пространственно-временной континуум, не зависящий от системы отсчета. Разумное существо, сформировавшееся в мире околосветовых скоростей, очевидно, непосредственно воспринимало бы пространственно-временной континуум как нечто единое. В нашем же мире единое пространство-время распадается на относительно независимые друг от друга пространство и время.

Справедливости ради стоит добавить, что первоначально в своей теории относительности Эйнштейн рассматривал пространство и время по отдельности. Объединил их Г. Миньковский, один из цюрихских преподавателей Эйнштейна. Миньковский показал, что понятие о четырехмерном пространстве и времени очень глубоко и плодотворно.

Пространство и время в общей теории относительности

Специальная теория относительности базируется на расширенном принципе относительности. Согласно этому принципу во всех инерциальных систе-

мах все физические процессы протекают одинаково и для формулировки законов физики можно пользоваться любой из них. Возникает вопрос: нельзя ли распространить расширенный принцип относительности и на неинерциальные системы отсчета? Для решения этой задачи А. Эйнштейн использовал мысленный эксперимент, который состоит в следующем. Возьмем в качестве неинерциальной системы свободно падающий в поле тяготения Земли лифт. Сможет ли наблюдатель внутри лифта определить, что его система отсчета ускоренно движется? Эйнштейн показывает, что никакими экспериментами внутри лифта нельзя сделать выбор между двумя утверждениями: 1) лифт ускоренно движется в поле тяготения Земли и 2) лифт покоится, и исчезло поле тяготения.

Отталкиваясь от мысленного эксперимента с лифтом, Эйнштейн сформулировал **принцип эквивалентности**, утверждающий, что поле тяготения в небольшой области пространства и времени (в которой его можно считать однородным и постоянным во времени) по своему проявлению тождественно ускоренной системе отсчета, т.е. силы инерции в ускоренной системе отсчета эквивалентны гравитационному полю.

Этот принцип носит локальный характер и справедлив в бесконечно малых областях пространства-времени. Но для построения общей теории относительности вполне достаточно локальной справедливости принципа эквивалентности, что позволило Эйнштейну сформулировать **общий принцип относительности**, утверждающий неизменность законов природы в любых системах отсчета — как инерциальных, так и в неинерциальных. Это потребовало дальнейшего изменения наших представлений о пространстве и времени. На этот раз речь идет о геометрии.

Мерность пространства и времени

Уже в Древней Греции сформировалась и приобрела логически стройный вид евклидова геометрия. Эта геометрия базируется на пяти аксиомах. Первые 4 кажутся более фундаментальными, чем пятая. Пятая аксиома звучит так:

«Предположим, что имеется прямая линия и точка вне ее. Тогда через эту точку можно провести одну и только одну прямую, параллельную первой».

Первым усомнился в этой истине немецкий математик Карл Гаусс. Он понял, что геометрия Евклида – это геометрия на плоскости. Он заметил, что при перенесении этой геометрии на искривленное пространство, – например, на поверхность Земли, пятая аксиома перестает быть справедливой (Гаусс рассматривал свою геометрию в двух измерениях).

Идеи Гаусса о неевклидовой геометрии развил его ученик Георг Риман. Риман обобщил геометрию на 3 и более измерений. Геометрия Римана была не наглядной и описывалась с помощью формул и чисел.

Приблизительно в то же время математики Лобачевский и Больяй независимо друг от друга разработали другую неевклидову геометрию.

Итак, появилось сразу три геометрии:

в геометрии Евклида через точку, расположенную вне прямой, можно провести одну параллельную ей линию;

в геометрии Римана – ни одной;

в геометрии Лобачевского-Больяй – бесконечное множество.

Последние две геометрии относятся к двум, трем и более измерениям. Геометрии Римана и Лобачевского связаны с искривленными поверхностями. Кривизна поверхности Римана положительная, как у сферы, кривизна поверхности Лобачевского отрицательная. Такую кривизну имеет, например, седло.

Возможность неевклидовой метрики пространства следует уже из принципа эквивалентности. Проведем следующий мысленный эксперимент с «лифтом Эйнштейна» (рис. 3).

Просверлим отверстие в одной из стенок лифта. Направим в это отверстие световой луч (точка А), который падает на противоположную стенку лифта (точка В). Линия АВ – прямая. Лифт начинает двигаться с ускорением вверх. Это приведет к тому, что пока свет проходит расстояние между стенками лифта, лифт успевает сместиться на некоторое расстояние вверх и луч света попадет не в точку В, а в точку В'. Согласно принципу эквивалентности ускоренное

движение равнозначно наличию поля тяготения. Значит, в гравитационном поле траектория светового луча оказывается искривленной. Линия АВ' сохраняет свойство, которым в геометрии Евклида обладает прямая – быть кратчайшим расстоянием между двумя точками – и называется прямейшей, или геодезической линией.

Рис. 3. «Лифт Эйнштейна».

Но гравитационные поля всегда имеются, а это значит, что любые линии в реальном пространстве, которые можно идентифицировать, не будут евклидовыми прямыми и, следовательно, метрика пространства неевклидова.

Согласно теории относительности Эйнштейна сил тяготения, действующих аналогично силам в механике или электродинамике, просто не существует. Движение тел в поле тяготения есть своеобразное движение по инерции, но в искривленном пространстве, где место прямых линий занимают **геодезические мировые линии**. Движение в поле тяготения – движение по инерции в неевклидовом пространстве.

Огромное значение общей теории относительности состоит в дальнейшем развитии наших взглядов на пространство и время. Согласно общей теории относительности пространство-время ничто без материи, формой бытия которой оно является. *Метрика пространства-времени создается распределением материальных масс. Пространство-время является выражением наиболее общих отношений материальных объектов и вне материи существовать не может.* Это центральный тезис общей теории относительности в понимании пространства-времени.

Пространство и время в квантовой физике

Понятия пространства и «времени» в теоретических исследованиях квантовой физики не занимают такого фундаментального места как в классической физике. В квантовой физике сформулирован ряд законов сохранения (закон сохранения лептонного заряда, закон сохранения барионного заряда и др.). Но с

этими законами трудно сопоставить свойства симметрии пространства и времени.

Движение в квантовой физике описывается уравнением Шредингера, которое лежит в основе волновой механики (теории движения микрочастиц). Уравнение Шредингера симметрично во времени. Это означает, что в квантовой механике, как и в физике Ньютона, на фундаментальном уровне время не содержит в себе различия между прошлым и будущим. Время и пространство симметричны, а следовательно, изотропны, не направлены, не имеют выделенного направления.

Таким образом, различия между прошлым и будущим на фундаментальном уровне описания для физика не существует. Но когда мы имеем дело с физическими экспериментальными явлениями или явлениями на уровне биологии, геологии, истории, то видим, что прошлое и будущее играют различную роль, что существует направленность времени.

Сегодня, кроме проблемы направленности времени, возникла неясность относительно упорядочения времени. Новейшие экспериментальные данные говорят о наличии у времени порядка. Вместе с тем существуют теории, допускающие при определенных условиях отсутствие порядка.

Далее, наш здравый смысл говорит о том, что время течет, что существует поток времени. Но теоретическая физика, фундамент нашего понимания мира, говорит или об обратном или в лучшем случае – молчит об этом.

Квантовая механика существует менее 100 лет. Поэтому ситуацию в науке, которая сложилась к концу XX – началу XXI вв., можно назвать: время поиска. Развиваются различные направления исследования, и нет окончательно признанных концепций, решающих все известные на сегодня проблемы.

Существует диапазон исследовательских программ, в которых подвергаются сомнению давно «устоявшиеся» научные положения, например, **мерность и непрерывность пространства-времени**.

Физики и математики пытаются оторваться от четырехмерного континуума. Разрабатываются многомерные физические пространства-времена. Мно-

гомерность привлекают для решения проблемы объединения фундаментальных физических взаимодействий.

Роджер Пенроуз (физик-теоретик) в своей твисторной программе развивает идею о квантовании пространства-времени. Он предлагает при описании квантово-механических явлений вообще отказаться от понятия точки пространства-времени, так как из-за принципа неопределенности в квантовой теории точка должна «размазаться».

В некоторых гипотезах квантовую физику интерпретируют с точки зрения множественности миров. В этом случае физической реальностью становится не пространство-время, а мультиверс (универсум).

Мультиверс подобен огромному количеству сосуществующих пространств-времен, которые законами квантовой физики связаны таким образом, что невозможно упорядочить их обычным временным порядком. Другие времена являются лишь особыми представителями других Вселенных. Мультиверс не состоит из последовательных слоев. Это сложная многомерная мозаика.

Не решенной на сегодняшний день проблемой остается не полная совместимость общей теории относительности с квантовой теорией, что не позволяет создать квантовую теорию гравитации. Но физики не оставляют надежды создать такую теорию и продолжают работать в этом направлении. К работам подобного рода можно отнести теорию струн, твисторную программу Р. Пенроуза и программу квантовой гравитации Стивен Хокинга (физик-теоретик).

Пространство и время в квантовой теории поля

Наиболее общая взаимосвязь пространства, времени и материи в квантовой теории поля формулируется в виде **СРТ-теоремы**. Она утверждает, что уравнения квантовой теории не изменяются при одновременном применении трех преобразований: зарядового сопряжения (C) – замена всех частиц соответствующими античастицами; пространственной инверсии (P) – замена знаков всех пространственных координат на противоположные; обращения времени (T) – замена знака времени на противоположный.

Пространство и время в неравновесной термодинамике

Представления о пространстве и времени коснулось также термодинамики. В XX в. развивается неравновесная термодинамика (брюссельская школа И.Р. Пригожина). В неравновесной термодинамике рассматривают необратимые процессы, с которыми связывают необратимость времени. Пригожин вводит два понятия времени – динамическое и внутреннее. Динамическое время – это время, позволяющее задать описание движения точки в классической механике, или изменение волновой функции в квантовой механике. Внутреннее время – это время, которое существует только для неустойчивых динамических систем. Оно характеризует состояние системы, связанное с энтропией.

7. Исследовательские программы, альтернативные теории относительности А. Эйнштейна

В физике XX в. ОТО сыграла особую и своеобразную роль. Прежде всего следует отметить, что она является неклассической теорией тяготения, которая, возможно, не завершена и не лишена некоторых недостатков. Трудность состоит в том, что с точки зрения ОТО искривление пространства-времени создается материей (и соответствующей ей энергией) и в то же время оно влияет на материю, создавшую искривление. Поэтому уравнения поля тяготения должны содержать в себе и уравнения движения масс в данном поле. Это приводит к тому, что уравнения теории не линейны и не подчиняются принципу суперпозиции, т.е. нельзя просто сложить известные решения для простых систем, чтобы получилось полное решение для сложной системы. С этим связаны, например, трудности в интерпретации содержания тензора энергии – импульса. Математический аппарат теории настолько сложен, что почти все задачи, кроме самых простейших, оказываются неразрешимыми. Из-за таких трудностей (возможно, они скорее технического характера, но может быть и принципиального) ученые до сих пор все еще пытаются разобраться в ее смысле.

Поэтому вполне закономерно, что и в XX в. физики продолжали изобретать альтернативные теории тяготения. Их создано уже более 20 (математики

Теодор Калуца, Герман Вейль, Эли Жозеф Картан и др.). Некоторые из них, как и теория Эйнштейна, исходят из геометрического толкования гравитации, а другие – из понятия поля, заданного в плоском пространстве-времени, третьи рассматривают «гравитационную постоянную» как функцию, зависящую от времени. Все эти альтернативные теории не предсказывают новых экспериментов, и потому их эвристическое значение практически равно нулю. Кроме того, ни одна из них не обладает такой эстетической привлекательностью, красотой и изяществом, как теория Эйнштейна.

Физики давно признали, что ОТО дает наилучшее из известных описание пространства-времени и гравитации. Тем более что на основе ОТО были развиты два фундаментальных направления современной физики: геометризованные единые теории поля и релятивистская космология.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими были взгляды на пространство и время античных мыслителей?
2. В чем суть субстанциональной и реляционной концепций? В каких физических теориях наиболее ярко проявились эти концепции?
3. Представления о пространстве и времени в механистической картине мира.
4. Дайте определение понятиям «система отсчета», «инерциальная система отсчета», «неинерциальная система отсчета». В каких системах отсчета справедливы законы классической механики?
5. Почему при формировании классической механики возникли представления об абсолютном пространстве и абсолютном времени?
6. Почему в физике начала XX в. возникает необходимость поиска новой системы преобразований? Какие выводы следуют из преобразований Лоренца?
7. К какому основному выводу относительно пространства и времени пришла наука с помощью СТО и ОТО А. Эйнштейна?
8. Какие мысленные эксперименты проводил Эйнштейн? К каким выводам он пришел в результате этих экспериментов?

9. Можно ли считать, что принятие четырехмерного пространственно-временного континуума означает признание реальности четырехмерного пространства? При каких условиях этот континуум стал бы для обывателя реальностью?

10. Представления о пространстве и времени в квантовой физике.

11. Свойства пространства и времени и их характеристика.

12. О каких геометриях можно было говорить к концу XIX в.?

13. Объясните необратимость времени с помощью закона возрастания энтропии.

14. Какие свойства пространства и времени позволяют говорить об их симметрии? С какими законами сохранения связаны эти свойства?

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ВОСПРИЯТИЕ ЧЕЛОВЕКОМ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Пространство и время занимают особое место среди всего воспринимаемого нами. Ведь все предметы находятся в пространстве и всякое явление существует во времени. Еще Ньютон в своем труде «Математические начала натуральной философии» (1687 г.), помимо необходимых для развития классической механики научных представлений об абсолютных пространстве и времени, вводит представления о пространстве и времени, воспринимаемыми нашими органами чувств. Эти пространство и время он называет обыденными.

Рассмотрим, как объясняют восприятие человеком пространства и времени современные физиология и психология.

1. Восприятие пространства

Наше восприятие пространства – это, по сути, восприятие пространственных свойств предметов. К пространственным свойствам предмета относятся: величина, форма, положение в пространстве.

Восприятие величины предмета:

в восприятии величины предмета существенную роль играет его изображение на сетчатке; чем больше изображение предмета на сетчатке, тем больше нам кажется предмет;

величина изображения воспринимаемого предмета зависит от величины зрительного угла; чем больше величина зрительного угла, тем больше изображение на сетчатке глаза;

восприятие величины предмета зависит также от расстояния, на котором находится предмет.

Другой особенностью восприятия предмета в пространстве является контраст предметов. Окружение, в котором находится воспринимаемый нами предмет, оказывает заметное влияние на его восприятие. Например, один и тот

же круг кажется меньше среди больших кругов и кажется больше среди меньших кругов.

Восприятие формы предмета:

восприятие формы является постоянным и устойчивым. При восприятии формы учитывается поворот предмета к нам;

восприятие формы предмета, находящегося на значительном удалении, может меняться. Так, мелкие детали контура по мере удаления предмета исчезают и его форма приобретает упрощенный вид. Может меняться и форма в целом.

Очень сложен процесс восприятия объемной формы. Мы воспринимаем объем формы потому, что человеческие глаза обладают способностью бинокулярного зрения.

Однако бинокулярное зрение не является единственным условием объемного восприятия предмета. Если мы посмотрим на предмет одним глазом, то все равно воспримем его рельеф. Большую роль в восприятии объемной формы играет знание объемных признаков данного предмета, а также распределение света и тени на объемном предмете.

Восприятие формы, как и восприятие величины, зависит от нашего опыта. В восприятии пространства важную роль играет восприятие расположения предметов по отношению друг к другу. Об удаленности мы часто судим по косвенным признакам: один предмет закрывает другой или контуры одного предмета более заметны, чем контуры другого предмета.

Элементы физиологии восприятия пространства

Пространство трехмерно, и поэтому для его восприятия задействован целый ряд совместно работающих анализаторов:

специальный вестибулярный аппарат, расположенный во внутреннем ухе; глазодвигательные мышцы, связанные с вестибулярным аппаратом; аппарат бинокулярного зрения, обеспечивающий восприятие глубины пространства.

Существенную роль в восприятии удаленности предметов, или пространственной глубины, играют конвергенция и дивергенция глаз.

Конвергенция и дивергенция вызываются сокращением и расслаблением глазных мышц. Поэтому они сопровождаются определенными двигательными ощущениями. Хотя мы обычно не замечаем эти ощущения, в восприятии пространства они играют весьма заметную роль.

Наряду с ощущением от конвергенции и дивергенции глаз мы получаем ощущения от аккомодации глаза.

Для обеспечения ориентации в пространстве человек использует добавочные механизмы. Такими добавочными механизмами являются понятия «правое» и «левое». С помощью этих абстрактных понятий человек осуществляет сложный анализ внешнего пространства. Формирование этих понятий связано с выделением ведущей руки; для большинства людей это правая рука.

Центральную регуляцию пространственного восприятия осуществляют третичные зоны коры головного мозга, или «зоны перекрытия», которые объединяют работу зрительного, тактильно-кинестатического и вестибулярного анализаторов.

2. Восприятие времени

Восприятие человеком времени изучено гораздо меньше, чем восприятие пространства. Сложность изучения данного вопроса заключается в том, что время не воспринимается нами как явление материального мира. О его течении мы судим лишь по определенным признакам.

Наиболее элементарными формами восприятия времени являются процессы восприятия длительности и последовательности, в основе которых лежат элементарные ритмические явления, известные под названием «биологических часов» (приложение 2). С другой стороны, мы воспринимаем время при выполнении какой-либо работы, т.е. когда происходят определенные нервные процессы, обеспечивающие нашу работу. В зависимости от длительности этих процессов, чередования возбуждения и торможения мы получаем определен-

ную информацию о времени. Из этого можно сделать вывод о том, что в исследовании восприятия времени необходимо учитывать два основных аспекта: восприятие временной длительности и восприятие временной последовательности.

Восприятие временной длительности

Оценка длительности временного отрезка во многом зависит от того, какими событиями он был заполнен. Если событий было много и они были интересны для нас, то время шло быстро. И наоборот, если событий было мало или они были не интересны для нас, то время тянулось медленно. Однако если приходится оценивать прошедшие события, то оценка длительности носит обратный характер. Время, заполненное разнообразными событиями, мы переоцениваем, временной отрезок кажется нам более продолжительным. И наоборот, неинтересное для нас время мы недооцениваем, временной отрезок кажется нам незначительным.

Оценка длительности времени зависит и от эмоциональных переживаний. Если события вызывают положительное отношение к себе, то время кажется быстро идущим. И наоборот, негативные переживания удлиняют временной отрезок.

Восприятие временной последовательности

Характерной особенностью времени является его необратимость. Мы не можем вернуть то время, которое прошло. Благодаря этому мы воспринимаем течение времени, устанавливая объективный порядок необратимой последовательности событий. Этот порядок мы устанавливаем на основе причинных зависимостей следования одних событий за другими.

Кроме установления порядка, мы пользуемся временной локализацией, т.е. мы знаем, что такое-то событие должно произойти в данное время. Локализация времени возможна потому, что мы пользуемся определенными величинами временных интервалов. Такими интервалами могут быть день, неделя, месяц, год, столетие. Существование этих интервалов возможно потому, что в них

чередуется определенная смена событий, – например, заход и восход солнца. Так по количеству восходов мы можем судить, сколько прошло дней, недель, месяцев, лет.

Поскольку время – направленная величина, вектор, однозначное его определение предполагает не только систему единиц измерений (секунда, минута, час, месяц, столетие), но и постоянную отправную точку, от которой ведется счет. В воспринимаемом человеком времени должна быть одна привилегированная точка. Естественной отправной точкой во времени является настоящее, которое разделяет время на предшествующее ему прошлое и последующее будущее.

Таким образом, в восприятии времени человеком необходимо выделить два аспекта: субъективный и объективно-условный. Субъективный связан с нашей личной оценкой происходящих событий, что, в свою очередь, зависит от заполненности данного временного периода событиями, а также их эмоциональной окрашенности. Объективно-условный аспект связан с объективным течением событий и чередой условно-договорных точек отсчета, или интервалов времени. Если первый аспект отражает наше ощущение времени, то второй помогает нам ориентироваться во времени.

3. Развитие пространственно-временного восприятия в онтогенезе человека

Ребенок уже в младенческом возрасте воспринимает форму предметов, выделяет контуры и другие элементы. Можно сказать, что в младенческом возрасте дети способны ориентироваться во многих параметрах объектов.

В младенчестве развивается также пространственное восприятие, в частности восприятие глубины. Американские психологи провели эксперимент с так называемым «обрывом»: младенца помещали на стеклянный стол, под которым с помощью досок и материи создавали иллюзию обрыва. Маленький ребенок, тактильно ощущая ровную поверхность стекла, ползет к матери, не за-

мечая глубины. После 8 месяцев большинство детей избегает «обрыва» и начинает плакать.

В возрасте около двух лет ребенок понимает, что если есть вопрос «когда?», то нужно ответить словами из категории времени. Слова «вечер», «день», «сегодня», «завтра» ребенок вначале использует по отношению к любой ситуации. Постепенно эта смутная категория времени дифференцируется. Мир разделяется на категории «сейчас» и «не сейчас». Ребенок начинает различать настоящее и не настоящее. «Сегодня» – все настоящее, «завтра» – все не настоящее.

Сначала ребенок представляет себе течение времени нечетко. Представление о времени формируется у него с представлением о собственном Я, о своем месте в той или иной ситуации, о месте других в этой ситуации.

К трем годам ребенок может уже четко выразить временную иерархию.

Категоризация пространственных и временных отношений – это не чисто когнитивный процесс. Только бытие в социальной ситуации, в структуре отношений «ребенок – взрослый», помогает ребенку в разграничении, дифференциации и осознания пространства и времени.

В процессе обучения у младших школьников формируются научные понятия. Они не возникают на пустом месте. Для того, чтобы их усвоить, дети должны иметь достаточно развитые житейские понятия. Житейские понятия – это нижний понятийный уровень. Научные понятия – верхний понятийный уровень, отличающийся осознанностью и произвольностью. По выражению советского психолога Л.С. Выгодского, «житейские понятия прорастают вверх через научные, научные понятия прорастают вниз через житейские». Овладевая логикой науки, ребенок устанавливает соотношения между понятиями, осознает содержание обобщенных понятий, связывает их с житейским опытом и вбирает в себя. Научное понятие в процессе усвоения проходит путь от обобщения к конкретным объектам.

Уже у младших школьников развиваются основы теоретического мышления, которые позволяют ученику решать задачи, ориентируясь не на внешние,

наглядные признаки и связи объектов, а на внутренние, существенные свойства и отношения.

В естествознании при рассмотрении вопросов пространства и времени базируются на научных представлениях, выработанных в отношении этих категорий в течение веков учеными нашей планеты. Воспринять эти представления нам помогает теоретическое мышление.

Вопросы для самоконтроля

1. Как человек воспринимает предметы?
2. Какую роль играют движения глаз в сложном зрительном восприятии?
3. Как мы воспринимаем пространство?
4. Какие формы восприятия времени вы знаете?
5. Почему у других заметить ошибку легче, чем у себя? Почему ошибки рекомендуется исправлять красным карандашом?
6. Расплывающееся на бумаге чернильное пятно обычно воспринимается как целостный предмет (птица, какое-то животное и т.д.) Какая важная особенность человеческого восприятия в этом проявляется?
7. Почему, когда человек впервые идет по незнакомой местности, самостоятельно разыскивая дорогу, он без труда найдет ее вторично; если же он идет вместе со спутником, которому дорога хорошо известна, человеку трудно будет самостоятельно проделать этот путь в следующий раз?
8. Известно, что один и тот же отрезок времени в разных ситуациях воспринимается по-разному. Объясните некоторые закономерности субъективной оценки времени человеком.
9. Чем объяснить, что слепорожденные, прозревшие после удачно сделанной операции, вначале не различают ни формы, ни величины, ни удаленности предметов?
10. Раскройте основные закономерности развития восприятия у детей.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Свойства пространства и времени связаны с главными законами физики – законами сохранения. Законы сохранения – это законы, утверждающие, что численные значения некоторых физических величин не изменяются со временем в любых процессах или в определенном классе процессов.

Есть законы сохранения, справедливые для любых изолированных систем, – например, законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда. Есть законы сохранения, справедливые для ограниченного класса систем и явлений, – например, законы сохранения странности, изотопического спина, четности.

Законы сохранения возникли на базе чисто философской догадки о наличии в мире неизменности и стабильности. Поиск неизменных и стабильных величин начался еще в античные времена. Так, первой стабильной величиной (с точки зрения античных философов) явилась материя – неуничтожимая и несотворимая. К неизменной величине отнесли также представление о вечном движении материи.

1. Закон сохранения массы

Представление о вечной и неизменной материи, находящейся в состоянии постоянного движения, в средние века оформилось в закон сохранения массы. Закон сохранения массы был сформулирован М.В. Ломоносовым в 1748 г. и звучит так: масса веществ, вступающих в реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате реакции.

Экспериментально закон был подтвержден Ломоносовым в 1756 г. на примере сжигания металлов в запаянных сосудах. Несколько позже (1789 г.) закон сохранения массы независимо от Ломоносова установил французский физик Лавуазье, который показал, что при химических реакциях сохраняется не только общая масса вещества, но и масса каждого из элементов, входящих в состав взаимодействующих веществ.

2. Закон сохранения энергии

Энергия – ведущая сила всех изменений. Это наиболее важное свойство, которым обладает Вселенная. Поэтому закон сохранения энергии рассматривается как самый основной закон из всех законов в природе.

Закон сохранения энергии первоначально был открыт в механике как закон сохранения механической энергии и получен из законов Ньютона английским ученым Лейбницем.

Закон сохранения механической энергии формулируется так:

в замкнутой системе, в которой действуют только консервативные силы, механическая энергия сохраняется. Энергия не создается и не уничтожается, только превращается из одной формы в другую, из кинетической в потенциальную и наоборот.

Закон сохранения механической энергии не выполняется в системе, в которой действуют и консервативные и диссипативные силы. Диссипативные силы – это силы, рассеивающие энергию.

Однако при рассеянии механической энергии всегда возникает эквивалентное количество энергии другого вида. Таким образом, полная энергия замкнутой системы всегда сохраняется.

Общий закон сохранения энергии, включающий все ее формы, является опытным эмпирическим законом. Он был открыт в середине XIX в. несколькими учеными:

Немецкий ученый Юлиус Майер впервые четко сформулировал закон сохранения энергии;

Английский физик Джеймс Джоуль первым осуществил точные измерения механического эквивалента теплоты;

Немецкий ученый Герман Гельмгольц математически обосновал закон сохранения энергии и показал его всеобщность.

Закон сохранения энергии формулируется так:

энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает. Количество энергии неизменно. Она только переходит из одной формы в другую.

В середине XIX в. законы сохранения массы и энергии трактовались как законы сохранения материи и движения. В начале XX в. оба эти закона сохранения подверглись коренному пересмотру в связи с появлением специальной теории относительности. Оказалось, что масса, определяемая по инерциальным свойствам тела, зависит от его скорости и, следовательно, характеризует не только количество материи, но и ее движение. Понятие энергии также подверглось изменению: полная энергия оказалась пропорциональной массе ($E = mc^2$).

Таким образом, закон сохранения энергии в специальной теории относительности естественным образом объединил закон сохранения массы и энергии, существовавшие в классической механике. По отдельности эти законы не выполняются, т.е. невозможно охарактеризовать количество материи, не принимая во внимание ее движения и взаимодействия.

Закон сохранения энергии интересен еще и тем, что в нем теснейшим образом переплелись физика и философия. Этот закон, все более уточняясь, постепенно превратился из неопределенного и абстрактного философского высказывания в точную количественную формулу.

3. Закон сохранения электрического заряда

С макроскопической точки зрения: электрический заряд в замкнутой системе остается постоянным.

С микроскопической точки зрения: при всех превращениях элементарных частиц разность между числом положительно и отрицательно заряженных частиц остается постоянной. Если возникает заряженная частица, то одновременно мы наблюдаем рождение частицы, имеющей заряд противоположного знака. При распаде любой частицы алгебраическая сумма зарядов остается неизменной. Например, при распаде нейтрона наряду с положительным протоном появляется отрицательный электрон.

Этот закон позволяет понять причину стабильности электрона. Электрон — самая легкая из заряженных частиц и по этой причине не может распадаться. Распад электрона приводил бы к нарушению закона сохранения заряда.

4. Закон сохранения импульса и момента импульса

Прежде всего стоит отметить, что эти законы являются общезначимыми, фундаментальными законами, выполняющимися во всех видах процессов и во всех системах.

Закон сохранения импульса был первым законом сохранения, открытым учеными. Импульсом материальной точки называют величину, равную произведению массы точки на ее скорость ($\vec{p} = m\vec{v}$).

При столкновении тел импульс каждого из них изменяется, но суммарный импульс останется тем же. При этом не имеет значения, соединятся тела после столкновения или отскочат под углом друг к другу.

В любой замкнутой системе общий импульс всегда остается постоянным. Под замкнутой системой понимается такая система, на которую не действуют внешние силы.

Импульс системы тел могут изменить только внешние силы. Закон сохранения импульса формулируется так: импульс сохраняется в изолированной системе, а также в системе, на которую действуют внешние силы с суммарным импульсом, равным нулю.

Любое тело, вращающееся вокруг своей оси или обращающееся вокруг какого-либо другого тела, обладает моментом импульса. Момент импульса - это произведение массы тела на скорость и на расстояние до центра вращения ($\vec{L} = m \cdot \vec{v} \cdot \vec{r}$). Момент импульса - величина векторная. Вектор момента направлен вдоль оси вращения. Формулировка закона: момент импульса сохраняется в изолированной системе, а также в системе, на которую действуют внешние силы с суммарным моментом импульса, равным нулю.

Законы сохранения играют большую роль в жизни нашей Вселенной и помогают ученым познавать ее тайны:

эти законы позволяют сравнительно простым путем решать ряд практически важных задач;

они применимы как к телам обычных размеров, так и к космическим телам и к элементарным частицам;

они являются всеобщими и относятся к любым явлениям природы;
они незаменимы при рассмотрении совершенно новых явлений, при проникновении в сферу неизведанного.

Задачи на тему: «Законы сохранения»

Закон сохранения массы

1. Какую массу фосфора надо сжечь для получения оксида фосфора (V) массой 7,1 г?

Ответ: А . 6,2 г В. 3,1 г С. 10,5 г

2. Какие массы металлического натрия и брома потребуются для получения бромида натрия массой 5,15 г?

Ответ: А. 1,15 г натрия В. 3,4 г натрия С. 4,0 г натрия.

3. Какой объем водорода выделится при нормальных условиях, если растворить алюминий массой 10,8 г в избытке соляной кислоты?

Ответ: А. 44,13 л В. 41,34 л С. 13,44 л.

Закон сохранения энергии

4. На барабан массой 9 кг намотан шнур, к концу которого прикреплен груз массой 2 кг. Найдите ускорение груза. Барабан считать однородным цилиндром. Трением пренебречь.

Ответ: А. 3 м/с^2 В. 13 м/с^2 С. 10 м/с^2 .

5. Автомобиль массой 1200 кг, движущийся со скоростью 72 км/ч, начав торможение, остановился через 80 м. Определите среднюю тормозящую силу автомобиля. Что произошло с исходной кинетической энергией?

Ответ: А. 1000 Н В. 2000 Н С. 3000 Н.

6. Автомобиль движется по горизонтальной дороге со скоростью 54 км/ч. С выключенным мотором и включенным тормозом он останавливается, пройдя 50 м. Определите коэффициент трения между колесами автомобиля и дорогой.

Ответ: А. 0,48 В. 0,23 С. 0,36.

Закон сохранения импульса

7. Человек и тележка движутся навстречу друг другу. Масса человека 64 кг, масса тележки 32 кг. Скорость человека 5,4 км/ч, скорость тележки 1,8 км/ч. Человек прыгает на тележку. Определите скорость тележки вместе с человеком.

Ответ: А. 3 км/ч В. 6 км/ч С. 7 км/ч.

8. Что произойдет, если космонавт, вышедший в открытый космос из орбитального корабля, выстрелит из пистолета? Масса космонавта, его скафандра и пистолета равны 120 кг, масса пули 50 г, скорость пули 400 м/с. Определите скорость отдачи.

Ответ: А. $1/8$ м/с В. $1/6$ м/с С. $1/2$ м/с.

9. Мальчик массой 58 кг прыгает с горизонтальной скоростью 3 м/с на неподвижный скейтборд массой 2 кг. Определите скорость, с которой мальчик двинется на доске.

Ответ: А. 3,4 м/с В. 6,8 м/с С. 2,9 м/с.

Библиографический список

1. Баранников, А.А. Основные концепции современной физики : учеб. пособие для вузов / А.А. Баранников, А.В. Фирсов. – Изд. 3-е, доп. – М.: Высш. шк., 2009. – 349 с.
2. Грибанов, Д.П. Философские взгляды А.Эйнштейна и развитие теории относительности. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2010. – 272 с.
3. Данилова, Н.Н. Физиология высшей нервной деятельности : учеб. /Н.Н. Данилова, А.Л. Крылова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 478 с.
4. Курс физики : учеб. для вузов: В 2 т. Т. 1. Изд. 6-е, испр. и доп. / под ред. В.Н. Лозовского. – СПб.: Лань, 2009. – 576 с.
5. Маклаков, А.Г. Общая психология: учеб.. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.
6. Философия современного естествознания: учебное пособие для вузов /под общ. ред. проф. С.А. Лебедева. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004.– 304 с.
7. Фридман, А.А. Мир как пространство и время. – М.: Либроком, 2009. – 114 с.
8. <http://www.study-land.ru/materialy/kse/sovremennaya-fizicheskaya-kartina/sovremennoe-sostoyanie-teorii-gravitatsii-i-ee-rol-v-fizike/view-details.html>.

ТЕМА №3. Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

1. Элементарные частицы в истории науки

Элементарными частицами в современной физике называются микро-частицы, представляющие собой простейшие формы материальных структур до уровня атомных ядер, за исключением ядра водорода, также являющегося элементарной частицей-протоном. Из этого определения следует, что понятие элементарности частиц не связывается с представлением об их бесструктурности и не исключает возможности того, что эти частицы состоят из совокупности других частиц.

К элементарным частицам относятся электрон, протон, нейтрон, фотон, нейтрино, мезоны, мюоны, странные частицы, резонансы и т.п. Всего более 350 частиц, в основном нестабильных. Их число продолжает расти и, скорее всего, неограниченно велико.

Прорыв в физику микромира произошел на рубеже XIX-XX вв. с открытием первой элементарной частицы – электрона – и осмысления необходимости разработки нового физического направления – квантовой механики. Работа в этом направлении продолжается и в наше время. Совершено множество открытий, позволивших подняться на более высокий уровень знаний о строении материи. Научные разработки в области физики микромира условно можно разделить на несколько периодов.

Первый период начинается открытием электрона и заканчивается созданием основ квантовой механики (первая четверть XX в.). За этот период были открыты: электрон (1897 г., Дж. Дж. Томсон); протон (1919 г., Э. Резерфорд); фотон – квант света (введен в науку М. Планком, 1900 г.).

Закладываются предпосылки понимания того, что в основе всех процессов и явлений лежит электромагнитная связь между элементами структуры и вещества.

Второй период в физике микромира – вторая четверть XX в. Создается теоретический фундамент физики элементарных частиц и их взаимодействий. Раскрыто строение атомного ядра; расположение электронов на электронных оболочках; обнаружены силы, действующие в ядре и названные сильными и слабыми взаимодействиями; открыт нейтрон (1932 г., Дж. Чедвик).

В основе научных взглядов на микроструктуру материи на данном этапе лежит представление о существовании четырех основных типов фундаментальных взаимодействий: сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного; их первичными источниками и носителями являются элементарные частицы.

Третий период – вторая половина XX в.

Открыто большое количество элементарных частиц: пи-мезоны, нейтрино (антинейтрино), антипротоны и антинейтроны, мюоны, к-мезоны, несколько сотен частиц, называемых резонансами. Начинается классификация элементарных частиц. Предлагаются различные варианты их классификации.

В 1964 г. появилась идея, что определенная группа элементарных частиц, называемых адронами, состоит из кварков. Так в физике элементарных частиц появляется кварковая модель. Первоначально количество кварков было шесть: три кварка и три антикварка. В настоящее время их значительно больше. С помощью кварков разрабатывается теория полевого описания сильных взаимодействий адронов.

В 1967 – 1968 гг. была разработана полевая теория слабых взаимодействий лептонов.

К 1971 г. создается и экспериментально подтверждается квантово-полевая теория, объединяющая слабые и электромагнитные взаимодействия.

Со второй половины XX в. и по сей день ведется работа по созданию единой теории поля, объединяющей все известные на сегодня фундаменталь-

ные взаимодействия. Выдвинуто множество гипотез, доказательства или опровержения которых возможно будут получены в результате работы Большого адронного коллайдера.

2. Классификация элементарных частиц

В зависимости от характера взаимодействия элементарные частицы подразделяются на несколько больших групп: лептоны, адроны и частицы-переносчики (рис. 4).

Лептоны

Лептоны (от греч. leptos – легкий, тонкий). К лептонам относятся шесть видов частиц (электрон, мюон, тау-лептон, три вида нейтрино) и столько же античастиц.

Электроны играют выдающуюся роль в существовании нашей планеты и жизни на ней. Мюоны составляют значительную часть космического излучения, регистрируемого на поверхности Земли. В конце 70-х гг. XX в. был открыт тау-лептон, оказавшийся частицей с весьма большой массой, необычной для лептонов, но по свойствам относящийся к лептонам. Каждому лептону из рассмотренной тройки соответствует нейтрино, рождающееся совместно с этим лептоном.

Лептоны имеют полуцелый спин и являются фермионами (см. свойства элементарных частиц).

Лептоны характеризуются особым квантовым числом – **лептонным зарядом**. Лептонный заряд лептонов равен единице. Лептонный заряд антилептонов равен минус единице. Лептонный заряд не связан с полями, а является средством учета лептонов в реакциях.

Лептоны участвуют в слабом и не участвуют в сильном взаимодействии. Лептоны, имеющие электрический заряд, участвуют также в электромагнитных взаимодействиях.

Нейтрино, не имея электрического заряда, не участвуют ни в сильном, ни в электромагнитном взаимодействиях. В результате они обладают огромной про-

никающей способностью. Например, нейтрино с энергией около 1 МэВ имеет длину пробега в свинце порядка 10^{20} см, что составляет около 100 световых лет.

Нейтрино и антинейтрино различаются знаками спиральности. У нейтрино спиральность отрицательная, у антинейтрино положительная.

Все лептоны, кроме мюона, являются стабильными частицами. У лептонов пока не выявлено наличия внутренней структуры, и поэтому лептоны считаются элементарными бесструктурными объектами точечного типа.

Весьма важная особенность нейтрино состоит в том, что они являются самыми распространенными из открытых к настоящему времени частиц во Вселенной. Их число примерно в 10 раз превосходит число электронов и протонов. Вопрос о существовании массы покоя у нейтрино пока не решен.

Если нейтрино имеют массу, то вследствие их огромной распространенности во Вселенной их общая масса может оказаться достаточно большой, чтобы внести заметный вклад в космическую гравитацию и влиять на эволюцию Вселенной.

Адроны

Адроны (от греч. adros – сильный, крупный). Семейство частиц, участвующих в сильных взаимодействиях. Адроны подразделяются на **барионы** и **мезоны**. Адроны не элементарны, так как состоят из кварков.

Кварк – электрически заряженная элементарная частица, участвующая в сильном взаимодействии, несущая дробный заряд.

Барионы (от греч. barys – тяжелый) – группа частиц с полуцелым спином, несущих **барионный заряд**, который является их внутренней характеристикой.

Все барионы, кроме протона, нестабильны. Нейтрон стабилен только в атомных ядрах. Закон сохранения барионного заряда указывает на строгое сохранение числа барионов при любых взаимодействиях и реакциях элементарных частиц. Барионы разделяются на **гипероны** и **нуклоны**. Все барионы имеют античастицы.

Гипероны (от греч. hyper – сверх, выше) – нестабильные, очень тяжелые частицы. Время их жизни $\sim 10^{-10}$ с.

Нуклоны (от лат. nucleus – ядро) – общее название протонов и нейтронов.

Мезоны (от греч. mesos – средний, промежуточный) – нестабильные частицы, не имеющие барионного заряда и обладающие нулевым или целочисленным спином.

К адронам относятся и **резонансы**. Большинство из них крайне нестабильно. Из-за короткоживучести их фиксируют по косвенным признакам.

Адроны не являются истинно элементарными частицами. Все адроны построены из более мелких частиц – **кварков**. Кварки несут дробный электрический заряд. Комбинация из двух и трех кварков может иметь суммарный заряд, равный 1 или нулю. Все кварки имеют спин $1/2$. Для объяснения существования всех известных адронов введены шесть видов кварков. Для различия этих видов используется термин «аромат» (табл. 1).

Самыми легкими из кварковых ароматов являются u- и d-; самыми тяжелыми – b- и t- кварки.

Каждому аромату соответствует свой антикварк. Каждый кварк может нести один из трех цветов: красный, желтый, синий. Антикварки могут иметь один из трех антицветов: антикрасный, антижелтый, антисиний.

Таблица 1

Основные характеристики кварков

Обозначение	Название сорта кварка (его аромат)	Электрический заряд	Барионный заряд
D	<i>down</i> – вниз*	-1/3	+1/3
U	<i>up</i> – вверх*	+2/3	+1/3
S	<i>strange</i> – странный /странность/	-1/3	+1/3
C	<i>charm</i> – очарованный /очарование/	+2/3	+1/3
B	<i>beauty</i> – красивый /красота/	-1/3	+1/3
T	<i>top</i> – верхний**, <i>truth</i> – правдивый	+2/3	+1/3

* Название аромата отсутствует, и соответствующее аддитивное квантовое число не употребляется.

** Общепринятого названия аромата нет.

Названия цветов условны и не имеют отношения к оптическим цветам. Было принято, что в свободном состоянии могут находиться только неокрашенные частицы. Из оптики известно, что смешение трех цветов – красного, желтого и синего – в грубом приближении дает белый цвет. В состав барионов входят три кварка, в состав мезонов – кварк и антикварк. Например: протон: u, u, d . Нейтрон: d, d, u . π^+ -мезон: u, d .

Кварки и антикварки в составе барионов и мезонов таковы, что суммарно приводят к их бесцветности.

Кварки, входящие в состав адронов, еще подразделяются на **валентные и морские**. Валентными называются реальные кварки, определяющие основу физических свойств адронов. Морскими называются виртуальные кварк-антикварковые пары, которые также входят в состав адронов, но живут очень мало.

Внутри адронов кварки могут совершать орбитальные и радиальные движения, что приводит к увеличению массы адронов и возбужденному кварковому состоянию. В рамках кварковой модели естественным образом нашли объяснение разнообразие мира адронов, а также преобладание среди них резонансов. **Резонансы** – возбужденные кварковые состояния.

Кварки могут существовать только внутри адронов и не наблюдаются в свободном состоянии. Такая ситуация получила название **конфайнмента** (от англ. confinement – заключение). Максимальное расстояние удаления кварков друг от друга соизмеримо с размерами адронов (10^{-15} см) и называется радиусом конфайнмента.

Одна из моделей конфайнмента – **модель струн**. Согласно этой модели кварки в адронах связаны силовыми жгутами-трубками, наподобие обычных струн. Попытка выбить кварк из адрона приводит к сильному натяжению струны. В конечном итоге жгут разрывается с последующим рождением из вакуума кварк-антикварковой пары. Вылетевшие из адрона кварк или кварк-антикварковая пара найдут себе соответствующих по «цвету» кварковых ком-

поньонов, объединившись в «белые» адроны, которые полетят в виде струй в двух направлениях: в направлении выбитого кварка и в направлении импульса исходного адрона. Экспериментальным подтверждением теории кварков и глюонов и доказательством струнной модели конфайнмента является обнаружение кварковых и глюонных струй при аннигиляции электрон-позитронных пар на ускорителях.

В связи с проблемой конфайнмента весьма интересна модель «кварковых мешков», согласно которой кварки находятся в пузырьках вакуума и удерживаются от разлета поверхностным давлением этих пузырьков.

Виртуальные частицы-переносчики взаимодействий

Все виды взаимодействий между элементарными частицами осуществляются посредством виртуальных частиц-переносчиков взаимодействий.

Частицы-переносчики имеют целое значение спина и относятся к **бозонам** (см. свойства элементарных частиц).

Различают **элементарные и составные бозоны**. Элементарные бозоны являются квантами калибровочных полей, с помощью которых осуществляется взаимодействие элементарных фермионов (лептонов и кварков).

К калибровочным бозонам относятся: фотон, глюон, $W^{\pm}$, Z^0 , гравитино и бозон Хиггса. Отношение гравитона к калибровочным бозонам не вполне очевидно вследствие отсутствия экспериментальных подтверждений и теории квантовой гравитации.

Каждый тип элементарных бозонов соответствует одному фундаментальному взаимодействию: фотон – электромагнитному, глюон – сильному, $W^{\pm}$, Z^0 бозоны – слабому, гравитон и гравитино – гравитационному взаимодействию.

Бозон Хиггса ответственен за появление масс $W^{\pm}$, Z^0 бозонов. Все элементарные бозоны, за исключением $W^{\pm}$, являются незаряженными. W^+ и W^- -бозоны по отношению друг к другу являются античастицами. Фотон, глюон, гравитино, $W^{\pm}$, Z^0 имеют спин -1 , гравитон – 2 , бозон Хиггса – 0 .

К **составным бозонам** относятся многочисленные двухкварковые связанные состояния, называемые мезонами. Спин мезонов является целочисленным и его значение не ограничено (0, 1, 2, 3...).

Переносчиками электромагнитных взаимодействий являются виртуальные фотоны. Они отличаются от легко регистрируемых реальных фотонов очень малым временем существования. Теория электромагнитных взаимодействий между частицами, осуществляемых посредством виртуальных фотонов, называется квантовой электродинамикой.

Фотон (от греч. photos – свет) – квант электромагнитного излучения, частица-переносчик электромагнитного взаимодействия. Различными способами рассчитанная масса фотона позволяет считать ее равной нулю. Поэтому фотон распространяется со скоростью света и делает радиус электромагнитного взаимодействия равным бесконечности.

Переносчиками слабых взаимодействий являются так называемые промежуточные векторные бозоны W^+ , W^- и Z . Это очень тяжелые частицы с массой 80 – 90 ГэВ, временем жизни $\sim 10^{-25}$ с. Поэтому слабое взаимодействие имеет очень малый радиус действия ($\sim 10^{-16}$ см).

Переносчиками сильных взаимодействий между кварками являются глюоны. Их особенность состоит в том, что они способны связывать в единую устойчивую систему не только два, но и три кварка.

Глюоны (от англ. glue – клей) обеспечивают связь кварков внутри адронов с помощью цветового поля, квантами которого они являются. Масса покоя глюона равна нулю, спин и электрический заряд – единице. Глюоны могут излучать сами себя и создавать вокруг себя глюонное поле. Глюоны могут находиться в различных «цветовых состояниях», которым соответствуют 8 глюонных полей.

Переносчиками гравитационных взаимодействий между частицами являются виртуальные гравитоны, имеющие нулевую массу и существующие только в движении со скоростью света.

Как и фотоны, гравитоны могут быть виртуальными и реальными.

Реальные гравитоны – это кванты гравитационных волн, и они в отличие от виртуальных гравитонов, в принципе, могут быть зарегистрированы. Но из-за чрезвычайной слабости гравитационных взаимодействий их пока уверенным образом зарегистрировать не удалось.

Виртуальные гравитоны – гипотетические частицы-переносчики гравитационного взаимодействия, являющиеся квантами гравитационного поля. Считается, что их масса покоя равна нулю; в вакууме они распространяются со скоростью света и обеспечивают дальнодействующее гравитационное взаимодействие. Гравитационное взаимодействие очень слабое, что не позволяет экспериментально обнаружить эти частицы.

Оказалось, что одними гравитонами не удастся описать гравитационное взаимодействие. Поэтому вводят новые частицы переносчики гравитации – **гравитино** и **грави-фотон**, который создает антигравитацию.

3. Свойства элементарных частиц

Элементарные частицы характеризуются рядом параметров, имеющих дискретные значения и часто называемых квантовыми числами. Две характеристики – масса частицы и время ее жизни не квантуются.

Масса. К частицам с нулевой массой относятся фотон, нейтрино и антинейтрино. Такие частицы существуют только в движении со скоростью света. Имеются экспериментальные данные, не получившие пока окончательного подтверждения о том, что нейтрино имеют хотя и очень малую, но отличную от нуля массу. В классе лептонов представлены частицы с малыми и нулевыми массами, за исключением тау-лептона, масса которого составляет около 3500 электронных масс. К классу адронов принадлежат частицы со сравнительно большими массами.

Время жизни. В зависимости от времени жизни частицы подразделяются на **стабильные, квазистабильные и нестабильные**, называемые обычно резонансами.

К стабильным относятся частицы, для которых пока не зарегистрированы спонтанные распады. Их теоретические времена жизни – более 10^{20} лет. Такими являются электрон, протон, фотон и нейтрино.

К квазистабильным относятся частицы, распад которых происходит за счет слабых и электромагнитных взаимодействий. Их времена жизни заключены в интервале (10^{-20} - 10^{-6}) с. К этой категории относятся часть гиперонов и часть мезонов. Квазистабильным является также нейтрон в свободном состоянии, однако время его жизни около 1000 с.

Времена жизни резонансов заключены в интервале (10^{-24} - 10^{-22}) с. Их распады обусловлены сильными взаимодействиями. Часть резонансов входит в состав мезонов, а часть – в состав гиперонов. Таким образом, среднее время жизни элементарных частиц может изменяться на 26 порядков.

Заряд частицы. Большинство известных на сегодня элементарных частиц обладает электрическим зарядом. Их электрический заряд по величине кратен заряду электрона (исключение составляют кварки).

В единицах заряда электрона заряд частицы всегда равен +1, -1, 0. Каждой частице (кроме фотона и двух мезонов) соответствуют античастицы с противоположным зарядом. Дробным зарядом должны обладать кварки.

Момент количества движения (спин). Интенсивность вращения любого вращающегося тела характеризуется моментом количества движения. Момент количества движения элементарной частицы называется спином. Спин – как бы врожденное свойство элементарной частицы, его нельзя изменить, не разрушив самой частицы. Спин является целым или полуцелым числом, кратным постоянной Планка $\hbar$ ($\hbar = 6,626 \cdot 10^{-34}$). Со спином связано заселение энергетических уровней.

Частицы с полуцелым спином называются **фермионами**. Фермионы подчиняются статистике Ферми – Дирака: в одном квантовом состоянии может находиться не более одной частицы (принцип Паули). Поэтому фермионы располагаются на отдельных энергетических уровнях парами: спины частиц такой

пары всегда направлены в разные стороны. Из фермионов «складывается» вещество. К фермионам относятся кварки и лептоны.

Квантовая система, состоящая из нечетного числа фермионов, сама является фермионом, поэтому протоны и нейтроны также являются фермионами, так как они состоят из трех кварков.

Частицы с целочисленными спиновыми числами описываются квантовой статистикой Бозе – Эйнштейна и называются **бозонами**. Любое количество частиц с целым спином может находиться в одном и том же энергетическом состоянии. Спиновые числа мезонов равны 0, поэтому они являются бозонами.

Изотопический спин. Некоторые адроны могут быть объединены в небольшие группы, называемые изотопическими мультиплетами. Частицы, образующие такую группу, формально можно рассматривать как различные квантовые состояния одной частицы. Примером может служить пионный триплет, состоящий из нейтрального, положительного и отрицательного π -мезонов. Мультиплет характеризуется квантовым числом J , которое может принимать целые и полуцелые значения и называется **изотопическим спином**.

Квантовое число «странность». Среди барионов и мезонов есть частицы, образование которых обусловлено сильными взаимодействиями и которые возникают только парами. Распад этих частиц происходит не за счет сильных, а за счет слабых взаимодействий, что делает распад значительно менее вероятным, чем образование. Такие частицы называли **странными**, и для теоретического описания их свойств было введено **квантовое число «странность»**, принимающее значения ± 1 , ± 2 и ± 3 . При взаимных превращениях с участием странных частиц сохраняется алгебраическая сумма этих чисел.

Квантовые числа «очарование» и «красота». Для некоторых адронов вводятся еще два аддитивных квантовых числа называемых очарованием и красотой. Алгебраические суммы этих чисел сохраняются в сильных и электромагнитных взаимодействиях. Частицы с этими числами называются очарованными и красивыми.

Барионный и лептонный заряды. Для описания взаимных превращений элементарных частиц оказалось целесообразным ввести две величины, сохра-

няющиеся при этих превращениях. Данные величины получили названия барионного и лептонного зарядов. Они выражаются безразмерными числами: +1 для частиц и -1 для античастиц. Если во взаимных превращениях участвуют барионы и антибарионы, то при этом сохраняется алгебраическая сумма барионных зарядов. Это означает, что барионы могут превращаться в другие, не барионные частицы только при аннигиляциях с антибарионами. При всех превращениях одни барионы превращаются в другие при сохранении общего числа барионов. Аналогичная ситуация имеет место и с лептонными зарядами.

Некоторые свойства наиболее стабильных элементарных частиц приведены в табл. 2.

4. Барионная асимметрия Вселенной

Почти все элементарные частицы имеют соответствующие им античастицы. Частицы и античастицы почти полностью тождественны. Но во Вселенной нет антивещества, иначе на границе соприкосновения вещества с антивеществом происходила бы аннигиляция с выделением огромного количества энергии. Преобладание вещества над антивеществом, частиц над античастицами называется **барионной, или зарядовой асимметрией Вселенной**.

Для того, чтобы на определенном этапе развития Вселенной произошла барионная асимметрия, необходимы были какие-то причины. Современная физика в качестве таких причин называет три. Эти факторы были сформулированы российским физиком-теоретиком А.Д. Сахаровым:

- а) несохранение числа барионов, т.е. нарушение закона сохранения барионного заряда;
- б) нарушение С- и CP- симметрий;
- в) отклонение от термодинамического равновесия.

Экспериментально пока не обнаружено ни одного случая нарушения этих симметрий. Есть также предположения, что Вселенная изначально была барионно-асимметричной и, возможно, превышение числа барионов над антибарионами является одной из фундаментальных констант Вселенной.

Таблица 2

Некоторые свойства лептонов и барионов

Наименование частиц	Символы		Масса (в элек- тронных массах)	Спин (в единицах $\hbar$)	Электрический заряд частицы (в ед. заряда $\bar{e}$)	Время жизни (с)
	части- цы	анти- части- цы				
Лептоны						
Электрон	e^-	e^+	1	1/2	-1	Стабилен
Мюон	μ^-	μ^+	206,7	1/2	-1	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Тау-лептон	τ^-	τ^+	3600	1/2	-1	Стабилен
Нейтрино элек- тронное	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	1/2	0	Стабильно
Нейтрино мюон- ное	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	1/2	0	Стабильно
Таонное нейтри- но	ν_τ	ν_τ	0	1/2	0	Стабильно
Мезоны						
Пи-мезоны	π^o	π^o	264,1	0	0	$0,8 \cdot 10^{-16}$
	π^+	π^-	273,1	0	1	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Ка-мезоны	K^+	K^-	966,4	0	1	$1,23 \cdot 10^{-8}$
	K^o	K^o	974,1	0	0	$0,86 \cdot 10^{-10}$
Эта-нуль-мезоны	η_o	η_o	1074	0	0	10^{-17}
Барионы						
Протон	p	$\bar{p}$	1836,1	1/2	1	Стабилен
Нейтрон	n	$\bar{n}$	1838,6	1/2	0	$0,9 \cdot 10^3$
Гиперон лямбда	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2184	1/2	0	$2,5 \cdot 10^{-10}$
Гипероны сигма	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327,6	1/2	1	$0,8 \cdot 10^{-10}$
	Σ^o	$\bar{\Sigma}^o$	2333,6	1/2	0	10^{-14}
	Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2343,1	1/2	-1	$1,49 \cdot 10^{-10}$
Гипероны кси	Ξ^o	$\bar{\Xi}^o$	2572,8	1/2	0	$3,03 \cdot 10^{-10}$
	Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	2585,6	1/2	-1	$1,66 \cdot 10^{-10}$
Омега-минус- частица	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	3273	3/2	-1	$1,3 \cdot 10^{-10}$

5. Взаимопревращения элементарных частиц

Все элементарные частицы превращаются друг в друга и взаимодействуют друг с другом. Рассмотрим на примерах проявления этих взаимодействий и взаимодействий.

Пример 1. Взаимодействие двух электронов. Один взаимодействующий электрон испускает фотоны, а другой их поглощает. Точно также второй взаимодействующий электрон испускает фотоны, а первый их поглощает. Взаимо-

действующие частицы образуют связанную пару. В этом суть электромагнитного взаимодействия.

Фотоны, которыми обмениваются электроны, – не обычные свободные фотоны, а **виртуальные**. В этой системе энергия фотона не меняется, а меняется лишь направление его импульса. В результате фотон, которым обмениваются электроны, переносит импульс электрона, но его энергия равна нулю.

Виртуальный фотон может уйти от испускавшего его источника лишь на малое расстояние, которое тем меньше, чем больше виртуальность фотона. Если поблизости от электрона пролетит электрон или протон, который сможет поглотить виртуальный фотон, то произойдет рассеяние, и электрон и протон изменят свои импульсы.

Понятие виртуальной частицы в квантовой теории поля играет важную роль. По существу все даже самые сложные процессы сводятся к испусканию, распространению и поглощению реальных и виртуальных частиц.

Пример 2. Заряженная частица (например, электрон) может непрерывно поглощать испускаемые ей же самой кванты (например, фотоны).

Приведенные примеры показывают «странное» поведение элементарных частиц. Создается впечатление, что фотоны изначально находились внутри электрона. Но это не так. Фотоны не прячутся внутри электронов, они рождаются в самом акте излучения.

Пример 3. Подавляющее большинство частиц распадается сам по себе, но это не говорит, что они состоят из продуктов собственного распада. Например, нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино. Но протон, электрон и антинейтрино не содержатся в нейтроне, и этот распад не говорит о том, что нейтрон не элементарная частица. Поэтому возникновение одних частиц и исчезновение других называются превращениями. Прямые опыты свидетельствуют, что все частицы способны превращаться друг в друга.

Пример 4. Чем выше энергия сталкивающихся частиц, тем большее количество и притом более тяжелых частиц рождается. Это возможно благодаря тому, что при увеличении скорости масса частиц растет. Экспериментально за-

фиксировано, как одна частица из космоса рождает ливни частиц общим числом до сотен миллионов, захватывающие у поверхности Земли площадь в несколько квадратных километров.

«Странное» поведение элементарных частиц объясняют квантовая механика и теория относительности.

При взаимных превращениях элементарных частиц выполняются все законы сохранения макро- и микромиров.

6. Элементарные частицы и законы сохранения

Остановимся на перечислении и обсуждении семи законов сохранения, которые господствуют в современной микрофизике и являются абсолютно строгими. Это законы сохранения: 1) энергии; 2) импульса; 3) момента количества движения (момента импульса); 4) электрического заряда; 5) лептонного заряда; 6) мюонного и тау-лептонного зарядов; 7) барионного заряда.

Первые три закона сохранения связаны со свойствами движения микрочастиц в пространстве-времени, следующие четыре закона должны быть отнесены к внутренним свойствам микрочастиц. Первые четыре закона сохранения, приведенные в списке, были уже известны в макрофизике. Хотя закон сохранения электрического заряда в микрофизике имеет свои особенности.

Закон сохранения электрического заряда в микромире. При всех превращениях элементарных частиц разность между числом положительно и отрицательно заряженных частиц остается постоянной. Если возникает заряженная частица, то обязательно наблюдается рождение частицы, имеющей заряд противоположного знака. При распаде любой частицы алгебраическая сумма зарядов остается неизменной.

Закон сохранения электрического заряда в микросистеме позволяет понять, почему электроны являются стабильными частицами. Электрон – самая легкая из заряженных частиц, и поэтому он не может распадаться. Распад электрона привел бы к нарушению закона сохранения.

Закон сохранения барионного заряда. Разность числа барионов и антибарионов в любой системе остается неизменной. При распаде любого бариона в продуктах распада обязательно присутствует более легкий барион.

Закон сохранения барионного заряда объясняет стабильность протона. Протон не распадается потому, что он является самым легким барионом.

Закон сохранения лептонного заряда. Разность между числом лептонов и антилептонов сохраняется при любых превращениях элементарных частиц.

Вопросы для самоконтроля

1. Что лежит в основе деления элементарных частиц на адроны и лептоны?
2. Чем принципиально отличаются барионы от мезонов?
3. Отличия античастиц от частиц. Какие частицы называются истинно-нейтральными?
4. Дайте определение понятию «аннигиляция». Почему физики считают, что в нашей Вселенной нет антивещества?
5. Кварковая модель адронов.
6. Почему кварки невозможно изучать в свободном состоянии?
7. Что является причиной возникновения возбужденных кварковых состояний – резонансов?
8. Какие элементарные частицы называются частицами-переносчиками? Какие фундаментальные взаимодействия переносят те или иные частицы-переносчики?
9. Почему частицы-переносчики именуются виртуальными?
10. Какими свойствами характеризуют элементарные частицы?
11. Назовите истинно элементарные частицы. Почему адроны не являются истинно элементарными частицами?
12. Опишите особенности взаимодействия и взаимопревращения элементарных частиц.
13. Какие законы сохранения действуют в микромире?

14. Когда и кем были открыты фотон, электрон, протон и нейтрон? Характеристика этих частиц, их роль в нашем мире.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

1. Общая характеристика фундаментальных взаимодействий

Все многообразие свойств природы обусловлено взаимодействующими элементарными частицами. Элементарные частицы участвуют в четырех качественно различных видах взаимодействий. Эти взаимодействия называются фундаментальными, т.е. основными, исходными, первичными.

Фундаментальные взаимодействия отличаются качественно и количественно. Количественное их отличие характеризуется **интенсивностью и радиусом взаимодействия**. По мере увеличения интенсивности фундаментальные взаимодействия располагаются в следующем порядке: гравитационное, слабое, электромагнитное, сильное. Каждое из этих взаимодействий характеризуется безразмерным параметром, называемым **константой взаимодействия**. Численное значение этой константы определяет интенсивность взаимодействия.

Фундаментальные взаимодействия переносятся элементарными частицами, которые называются переносчиками взаимодействия. Этот процесс осуществляется по следующей схеме: микрообъект испускает частицы (переносчики взаимодействия), которые поглощаются другим микрообъектом. Микрообъекты как бы чувствуют друг друга. При этом их энергия, характер движения, состояние изменяются, т. е. они испытывают взаимное влияние.

В квантовой теории взаимодействие описывают в терминах обмена специфическими квантами (бозонами), ассоциированными с данным типом взаимодействия. Для наглядного представления взаимодействия американский физик Р. Фейнман предложил использовать диаграммы, которые получили его имя – **диаграммы Фейнмана** (рис. 5).

Каждая частица, участвующая в процессе, на диаграмме Фейнмана изображается линией. Свободный левый конец линии обозначает нахождение частицы в начальном состоянии, свободный правый конец – в конечном со-

стоянии. Внутренние волнистые линии на диаграммах (т.е. линии, не имеющие свободных концов) соответствуют виртуальным частицам-переносчикам, которые рождаются и поглощаются в процессе взаимодействия. Излом прямых линий на диаграмме обозначает, что частицы, испускающие и поглощающие частицы-переносчики, изменяет состояние своего движения. Частицы-переносчики рождаются и поглощаются в процессе взаимодействия. Их нельзя зарегистрировать в отличие от реальных частиц. Взаимодействие частиц на диаграмме изображается узлами.

В современной физике высоких энергий все большее значение приобретает идея объединения фундаментальных взаимодействий. Согласно этой идее в природе существует только одно фундаментальное взаимодействие, проявляющееся в конкретных ситуациях как гравитационное, или слабое, или электромагнитное, или сильное, или как их комбинация. Пока создана теория, объединившая слабое и электромагнитное взаимодействия – теория электрослабых взаимодействий. Предпринимаются попытки найти принцип объединения всех четырех взаимодействий.

2. Гравитационное взаимодействие

Гравитационное взаимодействие – универсальное фундаментальное взаимодействие, в котором участвуют все тела и все классы элементарных частиц.

Константа гравитационного взаимодействия очень мала ($6 \cdot 10^{-39}$), поэтому гравитационное взаимодействие является самым слабым из всех известных взаимодействий в природе. Гравитационное взаимодействие является дальнедействующим – радиус его действия равен бесконечности.

Несмотря на то, что о феномене гравитации говорили еще в Древней Греции, а сам термин был введен в науку Аристотелем, это взаимодействие остается наименее изученным из всех фундаментальных взаимодействий. До сих пор не создано полной и последовательной теории гравитации. Классическая теория гравитации обходит стороной вопрос о механизме передачи этого взаимодейст-

вия. В общей теории относительности (ОТО) передачу этого взаимодействия видят в изменении общих свойств метрики пространства-времени. Согласно ОТО гравитация порождается не только массами, но и всеми видами энергии.

Частицей-передатчиком гравитационного взаимодействия считается гипотетический **гравитон** – квант гравитационного поля со спином 2. Описать механизм передачи гравитации с помощью одного гравитона не удастся. Поэтому с гравитацией связывают и другую частицу - переносчик – **грави-фотон** со спином 1.

Гравитационное взаимодействие проявляет свою квантовую природу в сильных гравитационных полях и на планковских расстояниях $r_{пл} \sim 10^{-33}$ см ($\sim 10^{19}$ ГэВ). На таких масштабах гравитационное взаимодействие начинает доминировать над другими фундаментальными силами.

Согласно теории Эйнштейна гравитационные поля могут распространяться в пространстве в виде гравитационных волн. Кроме того, должны существовать сильные и слабые гравитационные поля. Сильные гравитационные поля связаны с релятивистскими объектами. Однако данные о существовании таких полей пока отсутствуют. Слабые гравитационные поля сходны с электромагнитными полями, скорость их распространения равна скорости света, для них характерны интерференция и дифракция.

Гравитационные волны очень слабо взаимодействуют с веществом, и их прямое экспериментальное наблюдение до сих пор не проведено.

Гравитация определяет движение планет, играет важную роль в процессах, протекающих в звездах, управляет эволюцией Вселенной.

В земных условиях гравитация проявляет себя как сила взаимного притяжения любых тел и определяет множество явлений. Без этих сил не существовал бы водный и воздушный океан. Гравитация удерживает на Земле людей, животных. Корабль не тонет потому, что его выталкивает сила Архимеда, а появляется она потому, что вода сжата тяготением с силой, увеличивающейся с ростом в глубину.

Сам земной шар сжат силами тяготения до колоссальных давлений. В центре Земли давление превышает 3 млн. атм. Под действием этого давления все вещества в центре земного шара находятся в жидком состоянии. Тяжелые материалы опускаются к центру Земли, а легкие материалы всплывают. Этот процесс длится миллиарды лет и приводит к тому, что концентрация тяжелых элементов в центре Земли медленно нарастает.

На Земле притяжение Солнца и Луны проявляются в виде приливов и отливов.

3. Электромагнитное взаимодействие

Электромагнитное взаимодействие имеет место между телами и частицами, обладающими электрическими зарядами. В этом смысле оно универсально.

Классической теорией электромагнитного взаимодействия является максвелловская электродинамика.

Электромагнитное взаимодействие двух покоящихся точечных зарядов характеризуется известной электростатической силой Кулона. Это означает, что это взаимодействие является **дальнодействующим** и медленно спадает с ростом расстояния между зарядами.

Переносчик электромагнитного взаимодействия – фотон. На рис. 5 приведена диаграмма Фейнмана для электромагнитного взаимодействия путем обмена фотонами.

Безразмерная константа электромагнитного взаимодействия численно равна постоянной тонкой структуры ($\alpha \approx 1/137$). Эта константа больше констант гравитационного и слабого взаимодействий.

Электромагнитное взаимодействие является локальным в пространстве и времени, т.е. оно действует в бесконечно малой области пространства и практически мгновенно.

Примерами простейших электромагнитных процессов на микроуровне являются фотоэффект, комптон-эффект, образование электрон-позитронных

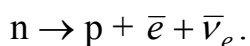
пар, а для заряженных частиц – ионизационное рассеяние, тормозное излучение.

Теория электромагнитного взаимодействия на микроуровне – квантовая электродинамика.

На макроуровне электромагнитное взаимодействие способствует существованию атомов, молекул, созданию вещества, протеканию химических реакций. Силами электромагнитного взаимодействия определяются трение, упругие и другие свойства вещества. Электромагнитные взаимодействия между молекулами и ионами лежат в основе существования и деятельности клеток живых организмов.

4. Слабое взаимодействие

Слабое взаимодействие было открыто итальянским физиком Э. Ферми в 1943 г. Слабое взаимодействие проявляется в распадах и взаимных превращениях элементарных частиц. В слабом взаимодействии участвуют адроны и лептоны. Слабое взаимодействие сложнее электромагнитного. Если электромагнитное взаимодействие не изменяет природу частиц, то слабое взаимодействие превращает взаимодействующие частицы в частицы другого вида. Типичный пример слабого взаимодействия – это β -распад нейтрона



При очень высоких энергиях слабое взаимодействие описывается как обменное, при котором осуществляется обмен квантом, наделенным слабым зарядом и действующим между фермионами. Такие кванты были впервые обнаружены в 1983 г. Это заряженные бозоны $W^{\pm}$ и нейтральный бозон Z^0 . Они и являются переносчиками слабого взаимодействия. Слабое взаимодействие с обменом W^+ или W^- -бозоном называется взаимодействием заряженных токов (рис. 6).

Слабое взаимодействие отвечает за явление β -радиоактивности.

Слабые взаимодействия проявляются в космических явлениях. В звездах протекают термоядерные реакции с испусканием нейтрино, происходящем под

действием слабых сил, что обеспечивает эффективный отток энергии из внутренних областей звезд. Благодаря особым свойствам слабого взаимодействия термоядерные реакции внутри звезд протекают ровно и спокойно.

На конечных этапах эволюции звезд также большую роль играют реакции с участием слабых сил, приводящие к гравитационному коллапсу центральных частей массивных звезд. При гравитационном коллапсе массивных звезд в их недрах за счет взаимных превращений частиц образуется чрезвычайно большое количество нейтрино. Извергаемые из недр звезды нейтринные потоки, несмотря на то, что нейтрино присущи только слабые взаимодействия, сбрасывают внешние слои звезды, превращая их в облака космического газа. При этом звезда в течение некоторого времени очень ярко светится. Такие явления называются взрывами сверхновых.

Интенсивность слабого взаимодействия характеризуется безразмерной константой связи $\alpha_w \approx 1,02 \cdot 10^{-5}$. Это говорит о том, что слабое взаимодействие гораздо интенсивнее гравитационного.

Слабое взаимодействие является короткодействующим, т.е. оно начинает действовать только тогда, когда частицы находятся достаточно близко друг к другу. Характерный радиус слабого взаимодействия имеет порядок 10^{-16} см. Поэтому слабое взаимодействие сосредоточено на расстояниях, меньших размера атомного ядра.

Обмен фермионов нейтральным Z^0 -бозоном называется реакцией с нейтральным током. После открытия нейтральных слабых токов получила подтверждение гипотеза С. Вайнберга, А. Салама, Ш. Глэшоу о том, что электромагнитные и слабые взаимодействия могут быть соединены в единую электрослабую теорию.

5. Сильное взаимодействие

В сильном взаимодействии участвуют только адроны. Сильное взаимодействие впервые было обнаружено при рассеянии α -частиц легкими ядрами. Исследование процесса рассеяния показало, что в непосредственной близости

от ядра вместо того, чтобы отталкиваться по закону Кулона, α -частица притягивалась к ядру, причем сила притяжения возрастала с уменьшением расстояния от частицы до ядра значительно быстрее, чем кулоновские силы отталкивания. Эта сила была названа ядерной силой, а взаимодействие – ядерным, или сильным.

Ядерные силы притяжения между протонами, нейтронами, протонами и нейтронами одинаковы. Это свидетельствует, что с точки зрения сильных взаимодействий протон и нейтрон неотличимы, для них используется единый термин – нуклон.

Сильное взаимодействие является короткодействующим и полностью сосредоточено на расстояниях, не превышающих характерного размера ядра.

В настоящее время разработана квантовая теория сильного взаимодействия – квантовая хромодинамика. Она стала развиваться после высказанной в 1964 г М. Гелл-Маном (США) и Г. Цвейгом (Швейцария) гипотезы о существовании кварков. По современным представлениям нуклоны состоят из элементарных частиц – кварков. Переносчиками сильного взаимодействия между кварками являются элементарные частицы глюоны.

Кварки и глюоны существуют только в связанном состоянии и не вылетают из адронов. Поэтому для сильных взаимодействий рассматривают две области: область, в которой радиус взаимодействия больше размера нуклона, и область, в которой радиус взаимодействия меньше размера нуклона. В первом случае взаимодействие можно рассматривать как обмен пи-мезонами (рис. 7). В этом случае константа взаимодействия равна 14. Во втором случае происходит обмен глюоном, и константа взаимодействия имеет величину меньше единицы.

В табл. 3 приведены наиболее существенные характеристики фундаментальных взаимодействий.

Таблица 3

Фундаментальные взаимодействия

Тип	взаи-	Частицы-	Частицы, уча-	Радиус взаи-	Безразмерная	Характер
-----	-------	----------	---------------	--------------	--------------	----------

модействия	перенос- чики	ствующие во взаимодейст- вии	модействия	константа взаимодейст- вия	взаимодейст- вия
Гравитаци- онное	Гравитон	Все частицы	∞	$\approx 0,53 \cdot 10^{-38}$	Притяжение
Электро- магнитное	Фотон	Электрoзаря- женные части- цы	∞	1/137	притяжение, отталкивание
Слабое	Вектор- ные бозо- ны $W^{\pm}$ и Z^0	Адроны, леп- тоны	10^{-16}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	Меняет тип частиц
Сильное	Пи-мезон	Адроны	10^{-13}	≈ 14	Притяжение
	глюон		10^{-14}	<1	

Вопросы для самоконтроля

1. Какие фундаментальные взаимодействия известны науке к настоящему времени? Какими параметрами их характеризуют?
2. Принцип построения диаграмм Фейнмана.
3. Какое взаимодействие является универсальным? Какие взаимодействия дальнего действия, какие – ближнего действия, почему?
4. Почему электромагнитное взаимодействие является локальным?
5. Объясните с помощью диаграмм Фейнмана, как происходит передача электромагнитного и слабого взаимодействий.
6. Почему передача сильного взаимодействия описывается двумя различными диаграммами Фейнмана?
7. Почему гравитационное взаимодействие оказалось наименее изученным?
8. Роль фундаментальных взаимодействий в нашем мире.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ТЕОРИИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Идея объединения всех фундаментальных взаимодействий заключается в том, что при огромных значениях энергии существует единое фундаментальное взаимодействие, которое по мере снижения энергии распадается на составляющие.

С современной точки зрения слабое и электромагнитное взаимодействия представляют собой различные стороны единого электрослабого взаимодействия. Существует теория, объясняющая механизм слияния этих взаимодействий. К настоящему времени разработаны теории (вернее, гипотезы) объединения трех и четырех фундаментальных взаимодействий.

1. Квантовая электродинамика

В середине XX в. была создана теория электромагнитного взаимодействия – квантовая электродинамика (КЭД). Эта теория описывает взаимодействие между собой заряженных элементарных частиц, прежде всего электронов и позитронов. Взаимодействие происходит в результате обмена фотонами. В КЭД анализируют акты испускания или поглощения одного фотона одной заряженной частицей; аннигиляцию электрон-позитронной пары в фотоны; порождение фотонов такой пары. 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 не вполне определенным траекториям. Все эти процессы допускают графическое представление (диаграммы Р. Фейнмана). При этом известны только начальное и конечное положение электронов, но определить момент, когда происходит обмен фотоном и какая из частиц испускает фотон, а какая поглощает, невозможно. Эти характеристики скрыты пеленой квантовой неопределенности.

Физикам удалось проверить экспериментально на двух эффектах, согласуется ли теория КЭД с реальностью. Оказалось, что согласуется, причем с очень большой точностью. Поэтому эта теория считается наиболее совершенной из существующих естественнонаучных теорий. За ее создание несколько ученых (С. Томанага, Р.Фейнман и Дж. Швингер) получили Нобелевскую премию за 1965 г.

После этого КЭД была принята как модель для описания трех других фундаментальных взаимодействий.

2. Теория электрослабого взаимодействия

В 70-е гг. XX в. электромагнитное и слабое взаимодействия были объединены в единое электрослабое взаимодействие.

Теория электрослабого взаимодействия была создана двумя физиками – С. Вайнбергом и А. Саламом, причем независимо друг от друга.

В этой теории слабое взаимодействие было описано на языке концепции калибровочного поля. А концепция калибровочного поля заключается в том, что понять фундаментальные природные взаимодействия можно только через симметрию.

Существуют разные типы симметрии: геометрические, зеркальные, не геометрические. Среди не геометрических есть так называемые калибровочные симметрии. Калибровочные симметрии носят абстрактный характер, т.е. органами чувств непосредственно не фиксируются. Они связаны с изменением отсчета уровня, отсчета масштаба или отсчета значения некоторой физической величины. Система обладает калибровочной симметрией, если ее природа остается неизменной при такого рода преобразованиях. Например, в физике работа зависит от разности высот; напряжение – от разности потенциалов, а не от их абсолютных величин. Симметрии, на которых основан пересмотр фундаментальных взаимодействий, именно такого рода.

Калибровочные преобразования симметрии могут быть глобальными и локальными.

Глобальные калибровочные преобразования симметрии изменяют систему в целом; во всех точках пространства – времени значения волновой функции подвергаются одному и тому же изменению.

Локальные калибровочные преобразования симметрии изменяют систему от точки к точке; волновая функция в каждой точке системы характеризуется своей особой фазой.

Глобальное калибровочное преобразование теоретически можно превратить в локальное. Для связи глобального калибровочного преобразования с локальным и для поддержания симметрии в каждой точке пространства необходимы калибровочные поля.

С помощью представлений о калибровочной симметрии можно теоретически моделировать все четыре фундаментальных взаимодействия, встречающиеся в природе. Все их можно рассматривать как калибровочные поля.

В создании теории электрослабого взаимодействия ключевую роль сыграло понятие спонтанного нарушения симметрии: не всякое решение задачи должно обладать всеми свойствами его исходного уровня. Так, частицы, совершенно разные при низких энергиях, при высоких энергиях могут оказаться на самом деле одной и той же частицей, но находящейся в разных состояниях. Таким образом идея спонтанного нарушения симметрии соединила электромагнетизм и слабое взаимодействие в единой теории калибровочного поля.

В теории Вайнберга–Салама представлено всего четыре поля: электромагнитное и три поля, соответствующих слабым взаимодействиям. Кроме того, было введено постоянное на всем пространстве скалярное поле (так называемое поле Хиггса), с которым частицы взаимодействуют по-разному, что и определяет различие их масс. Первоначально рождающиеся (при высоких энергиях) W - и Z -кванты не имеют массы, но из-за нарушения симметрии некоторые частицы Хиггса сливаются с W - и Z -частицами, наделяя их массой. В этой теории фотоны и тяжелые векторные бозоны (W - и Z) имеют общее происхождение и тесно связаны друг с другом.

Слабое взаимодействие в реальных условиях очень мало, потому что частицы-переносчики его (W и Z) имеют большую массу. Но большую массу они

получают именно при нарушении симметрии, «заглатывая» частицы Хиггса. А нарушение симметрии происходит при понижении энергии. При энергиях более 100 ГэВ W и Z-частицы также безмассовы, как и фотоны, и взаимодействия с их участием осуществляется так же легко, как и с участием фотонов.

Итак при энергиях более 100 ГэВ между электромагнитным и слабым взаимодействиями существует полная симметрия. А при понижении энергии симметрия нарушается, векторные бозоны получают массу и взаимодействие, которое они осуществляют, резко уменьшается, становится слабым.

Эта теория была доказана экспериментально (Вайнбергу и Саламу в 1979 г. была присуждена Нобелевская премия), сами же W- и Z-частицы были открыты только в 1983 г., с созданием новых, очень мощных ускорителей.

3. Квантовая хромодинамика – теория сильного взаимодействия

Область физики элементарных частиц, изучающая взаимодействие кварков и глюонов, называется квантовой хромодинамикой.

Для создания этой теории сильному взаимодействию необходимо было придать черты калибровочного поля.

Сильное взаимодействие можно представить как результат обмена глюонами, обеспечивающий связь кварков (попарно или тройками). Каждый кварк обладает свойством «цвет», которое является аналогом электрического заряда.

Электромагнитное поле порождается зарядом только одного сорта, а глюонное поле порождается тремя различными цветовыми зарядами. Всего три типа кварковых зарядов – «цветов»: красный, зеленый, синий. Каждый кварк имеет свой заряд – «цвет»; т.е. физики говорят, что каждый кварк «окрашен». Соответственно антикварки бывают антизеленые, антикрасные и антисиние.

Далее согласно требованиям локальной калибровочной симметрии вводятся компенсирующие калибровочные поля. Их восемь. Частицы-переносчики этих полей – глюоны (восемь различных типов глюонов). Глюоны имеют нулевую массу покоя и спин 1. Глюоны также имеют различные «цвета», но не чистые, а смешанные (например, сине-антизеленый), т.е. глюоны состоят из цвета и антицвета. Поэтому испускание или поглощение глюона сопровождается из-

менением цвета кварка. Но такие изменения носят не произвольный характер, а подчиняются следующему правилу: в любой момент времени суммарный цвет трех кварков должен представлять собой белый цвет, т.е. сумму «красный» + «зеленый» + «синий». Это распространяется и на мезоны.

Интенсивность взаимодействия «цветных» кварков с векторными калибровочными полями характеризуется константой, которая называется «цветовой заряд». Значение этой константы одинаково для кварков различных ароматов. Кварк, испускающий и поглощающий глюон, меняет свой цвет, но не меняет аромат. Для того, чтобы это происходило, глюоны должны быть двухцветными; они несут цвет и антицвет другого цвета, – например, красно-антисиний глюон (рис. 8).

С точки зрения квантовой хромодинамики сильное взаимодействие есть не что иное, как стремление поддерживать определенную абстрактную симметрию природы: сохранение белого цвета всех адронов при изменении цвета их составных частей.

Квантовая хромодинамика великолепно объясняет правила, которым подчиняются все комбинации кварков, взаимодействие глюонов между собой, взаимодействие кварков и глюонов.

Квантовая хромодинамика пока не является завершенной теорией сильного взаимодействия, но статус ее достаточно прочен и достижения многообещающи.

4. На пути к великому объединению

С построением калибровочной теории квантовой хромодинамики появилась надежда на построении единой теории трех взаимодействий: электромагнитного, слабого и сильного.

Модели, объединяющие три фундаментальных взаимодействия – электромагнитное, слабое и сильное, – называются **Теории Великого Объединения (ТВО)**. Согласно этим теориям при энергии взаимодействия $\sim 10^{15}$ ГэВ должно произойти выравнивание констант всех трех фундаментальных взаимо-

действий, т.е. три взаимодействия превращаются в единую силу, переносчиком этой силы являются фотон, векторные бозоны, глюоны и гипотетические сверхтяжелые и дробнозаряженные X и Y-бозоны. Все частицы-переносчики становятся безмассовыми, неразличимыми, являясь квантами калибровочного поля единой, более высокой по сравнению с электрослабой, калибровочной симметрии.

Основные следствия из ТВО:

1. Распад протона.
2. Существование магнитных монополей.
3. Существование массы покоя нейтрино.

Пока ничего из вышеперечисленного полностью доказать не удалось.

Одна из наиболее признанных ТВО называется **Стандартной моделью (СМ)**. Положения Стандартной модели:

1. Все вещество состоит из 12 фундаментальных частиц – фермионов: шести лептонов и шести кварков, которые можно объединить в 3 поколения фермионов.

2. Кварки участвуют в сильных, слабых и электромагнитных взаимодействиях; заряженные лептоны – в слабых и электромагнитных; нейтрино – только в слабых взаимодействиях.

3. Все три типа взаимодействия возникают как следствие постулата, что наш мир симметричен относительно калибровочных преобразований. Частицами-переносчиками взаимодействий являются:

восемь глюонов для сильного взаимодействия;
три тяжелых калибровочных бозона для слабых взаимодействий;
один фотон для электромагнитного взаимодействия.

Слабое взаимодействие может смешивать фермионы из разных поколений.

Некоторые предсказания СМ подтверждаются, некоторые расходятся с экспериментом. СМ не является последним словом в физике элементарных частиц. Ожидается, что эксперименты на Большом адронном коллайдере смогут зарегистрировать множество отклонений от стандартной модели.

Модели, объединяющие четыре фундаментальных взаимодействия – электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное – называются моделями **супергравитации**. Теория супергравитации базируется на идее суперсимметрии, т.е. такого перехода от глобальной калибровочной симметрии к локальной, который позволил бы переходить от фермионов к бозонам и наоборот.

В теориях супергравитации возникла идея о появлении новых измерений (10, 11 или даже 26) пространства, которые позволят описать все проявления свойств вещества и переносчиков взаимодействий. Только три из них проявляются в нашем мире, остальные остались скрученными в масштабе $r \approx 10^{-33}$ см.

На пути объединения гравитации с остальными фундаментальными взаимодействиями пока еще много проблем. Однако возможно, что уже в XXI в. величайшая задача всей истории познания материи будет решена – будет создана единая теория фундаментальных взаимодействий.

В определенном смысле это означает конец физической науки как науки о фундаментальных основаниях материи.

5. Решение проблемы великого объединения с помощью физики высоких энергий

Большую роль в выяснении природы фундаментальных сил и структуры элементарных частиц играет физика высоких энергий.

Вначале в рамках физики высоких энергий изучали космические лучи (30-40 гг. XX в.). Первичные космические лучи – это поток быстрых протонов,

падающих на Землю из космического пространства, которые, сталкиваясь с ядрами атомов атмосферы, рожают многочисленные вторичные частицы. При изучении вторичных частиц удалось обнаружить, что среди них, наряду с обычными частицами (фотонами, электронами, нуклонами), есть и другие, совершенно новые частицы. Для выяснения природы этих частиц с конца 40-х гг. XX в. начали строить мощные ускорители заряженных частиц.

В зависимости от типа ускоряемых частиц различают электронные, протонные ускорители и ускорители тяжелых ионов. Кроме того, ускорители бывают кольцевые (LHC) и линейные (JLC).

Принцип работы первых ускорителей: частицы разгоняют до нужных энергий, затем пучок частиц выпускают из ускорителя и направляют на мишень, в которой, сталкиваясь с ядрами вещества мишени, частицы пучка рожают новые частицы.

В последние годы все большее значение приобретают такие кольцевые ускорители, в которых ускоренные частицы сталкиваются не с неподвижной мишенью, а с пучком частиц, ускоренных в противоположном направлении.

Первые ускорители со встроенными пучками, их называли коллайдерами, появились еще в середине XX в.

В 1954 г. близ Женевы был создан международный институт (Европейский центр ядерных исследований – ЦЕРН) для изучения структуры материи. Вскоре там появились первые ускорители протонов с энергией на 0,8 ГэВ, затем на 28 ГэВ. Во второй половине XX в. в подмосковном Протвино запустили ускоритель на 70 ГэВ, а затем в ЦЕРНе ввели в строй ускорители с энергией протонов и антипротонов 450 ГэВ и электрон-позитронный коллайдер на 100×100 ГэВ. В результате удалось открыть новый тип кварков, обнаружить кванты слабого взаимодействия, «поймать» новые нейтрино и др.

В 2008 г. в Швейцарии коллективными усилиями многих стран завершено строительство кольцевого ускорителя (Большой адронный коллайдер /БАК/).

В БАКе будут сталкиваться либо адроны (протоны), либо ядра свинца. Энергия столкновения составит 14 ТэВ на один протон.

Энергия столкновения адронов пойдет на разогрев содержащихся внутри них кварков и глюонов и на разрыв связей между ними. Оказавшись на свободе, кварк и глюон претерпят фрагментацию, породив струи частиц. Масса частиц при столкновении не сохраняется. Эта масса будет зависеть от величины кинетической энергии. Чем большую скорость наберут частицы до столкновения, тем больше тяжелых частиц они могут породить.

Какие же вопросы физики собираются решить с помощью БАК?

Новый дорогостоящий (300 млн. долл.) коллайдер построили для воспроизведения условий, сложившихся в первые моменты после так называемого Большого взрыва. Эксперименты, которые пройдут на БАКе, должны ответить на пять вопросов, волнующих современных физиков:

1. Что есть масса?

Понять что такое масса – это значит подтвердить существование бозона Хиггса. Этот бозон считается квантом поля Хиггса, которое придает всему сущему, и прежде всего элементарным частицам, массу. Гипотезу о существовании этого бозона выдвинул шотландский физик Питер Хиггс в 1964 г. Согласно ей масса возникает как результат взаимодействия частицы с полем Хиггса. Этот бозон ищут давно, и, согласно статистике, его масса лежит в пределах 100-250 ГэВ. А значит, заявленная для Большого адронного коллайдера энергия столкновения должна обеспечить рождение бозона Хиггса.

2. Существуют ли в нашем мире скрытые пространственные измерения и суперсимметричные частицы?

Дополнительные (к четырем, реально имеющимся на сегодняшний день) измерения представляют собой математический формализм, который слабо поддается физической интерпретации. Но дополнительные измерения позволяют увеличить гравитационную постоянную и сравнить ее с константами остальных трех фундаментальных взаимодействий. Кроме того, найденные скрытые измерения явились бы экспериментальным подтверждением теории суперструн.

Суперсимметричные частицы появляются в теории суперструн. Согласно ее выводам у нашего мира есть нечто похожее на обратную сторону: у

каждой элементарной частицы имеется так называемый суперсимметричный партнер. Он выполняет те же функции, что и нормальный партнер, только принадлежит к противоположной статистике: нормальному бозону соответствует суперсимметричный фермион, а фермиону – бозон. Этот подход позволяет осуществить «Великое объединение», а именно вывести из единого корня три фундаментальных взаимодействия: электромагнитное, сильное и слабое при энергии более 10^{14} ГэВ, т.е. в течение первых 10^{-35} сек с момента Большого взрыва. Масса суперсимметричных частиц должна быть очень велика – в пределах 100-1000 ГэВ. Следовательно, легчайшие из них вполне можно обнаружить во время эксперимента на адронном коллайдере.

3. Что представляет собой темная материя?

Темное вещество не излучает электромагнитных волн и практически не взаимодействует с электромагнитным излучением. Темное вещество образует невидимую корону в нашей Галактике и у всех достаточно массивных галактик. Темное вещество содержится в группах галактик, в скоплениях и сверхскоплениях галактик. Оно проявляется только благодаря создаваемому им тяготению. Физическая природа носителя темного вещества не установлена. Надежно известно, что оно не содержит протонов и нейтронов.

4. Почему наш мир состоит из вещества и в нем антивещества?

Согласно физическим представлениям наш мир симметричен. У каждой частицы есть своя античастица – точно такая же, но обладающая иным зарядом. Кроме того, при отражении в зеркале свойства частицы меняться не должны. Благодаря этим представлениям удалось построить Стандартную модель – теорию, которая описывает строение элементарных частиц. В первые моменты после Большого взрыва, когда возникало вещество, его должно было образоваться ровно столько же, сколько и антивещества. И они должны были друг с другом проаннигилировать, наполнив Вселенную чистым светом. Однако этого не произошло: небольшое количество вещества выжило. Для того, чтобы объяснить этот парадокс, А.Д. Сахаров в 1967 г. предложил гипотезу, согласно которой на Вселенную накладываются три условия:

а) протоны должны быть стабильными;

б) в самом начале развития Вселенной должна быть инфляция – очень быстрое расширение, чтобы частицы вещества и антивещества, имеющие одинаковые массы, не смогли объединиться в нейтральные пары;

в) должно существовать взаимодействие, которое приводит к нарушению первоначальной симметрии вещества и антивещества.

В экспериментах на коллайдере физики надеются за обозримое время набрать достаточную статистику для того, чтобы понять, что это за взаимодействие.

5. Что было, когда во Вселенной еще не было вещества?

Согласно гипотезам спустя мгновения после Большого взрыва образовалась кварк-глюонная плазма – равномерная и очень плотная смесь кварков и глюонов. Именно это состояние материи хотят промоделировать, чтобы посмотреть, как из этой плазмы будет рождаться барионное вещество. Для образования кварк-глюонной плазмы в коллайдере будут ускорять и сталкивать ионы тяжелых металлов, – например, свинца. В капле плазмы надеются заметить множество интересных событий, которые позволят заглянуть почти в самое начало нашего мира.

Ответы на эти вопросы помогут понять, верны ли существующие на сегодняшний день гипотезы, объясняющие сложнейшие и таинственные моменты, связанные с происхождением и существованием нашей Вселенной.

Вопросы для самоконтроля

1. Как в квантовой электродинамике описывается взаимодействие элементарных частиц?

2. Почему слабое взаимодействие очень мало, а частицы его переносящие, имеют очень большую массу?

3. Роль калибровочной симметрии в объединительных теориях.

4. Роль цветовых зарядов в квантовой хромодинамике.

5. При каких энергиях объединяются слабое и электромагнитное взаимодействия; слабое, электромагнитное и сильное; все четыре фундаментальных взаимодействия?

6. Основные положения моделей «Великого Объединения» и суперсимметрии.
7. Какие знания о микромире физика получает с помощью ускорителей?
8. Варианты ускорителей и принцип их работы.
9. Ответы на какие вопросы ожидается получить с помощью экспериментов на Большом адронном коллайдере?

Библиографический список

1. Баранников, А.А. Основные концепции современной физики : учеб. пособие / А.А. Баранников, А.В. Фирсов. – Изд. 3-е, доп. – М.: Высш. шк., 2009. – 349 с.
2. Богуш, А.А. Очерки по истории физики микромира / А.А. Богуш. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.
3. Бухбиндер, И.Л. Фундаментальные взаимодействия / Современное естествознание: Энциклопедия в 10 т. – М.: МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. – Т. 4. Физика элементарных частиц. – С. 7-12.
4. Долгошеин Б.А. Новые миры создаются в лаборатории / Б.А. Долгошеин // Наука в России. – 2001. – №6. – С. 41-45.
5. Комаров, С.М. Ловушка для физиков – XXI // Химия и жизнь. – 2008. – № 3. – С. 8-13.
6. Курс физики: Учебник для вузов: В 2 т. – Т. 2. Изд. 6-е, испр. и доп. / под ред. В.Н. Лозовского. – СПб.: Лань, 2009. – 608 с.
7. Мотыляев, А. Большое столкновение // Химия и жизнь. – 2008. – № 3. – С. 4-5.
8. Найдыш, В.М. Концепции современного естествознания: учеб. пособие. – М.: Гардарики, 2007. – 704 с.
9. Окунь, Л.Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 128 с.
10. Паркер, Б. Мечта Эйнштейна. В поисках единой теории строения Вселенной. – СПб.: Амфора, 2000. – 333 с.

11. Прокошкин, Ю.Д. Физика элементарных частиц: избр. труды. – М.: Наука, 2006. – 359 с.
12. Сарычева, Л.И. Структура материи // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 6. – С. 112-120.
13. Смолянский, С.А. Вакуумное рождение частиц в сильных электромагнитных полях // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 2. – С. 69-75.
14. Сокальский, И.А. История барионов // Химия и жизнь. – 2006. – № 9. – С. 18-22.
15. Сокальский, И.А. Нейтрино, фотоны, мюоны, резонансы // Химия и жизнь. – 2006. – №10. – С. 20-23.
16. Сокальский, И.А. Темная материя // Химия и жизнь. – 2006. – № 11. – С. 24-27.

Краткий словарь основных терминов и понятий

Аннигиляция – процесс, при котором частица и ее античастица, сталкиваясь, взаимно уничтожают друг друга. В результате выделяется энергия и рождаются другие частицы.

Античастицы. Для большинства известных на сегодня элементарных частиц существуют античастицы. Античастица имеет одинаковые с соответствующей ей частицей массу, спин и время жизни; одинаковые по величине, но противоположные по знаку электрический, барионный и лептонный заряды, магнитный момент и некоторые другие величины, характеризующие взаимодействия.

Аромат – общее название для ряда квантовых чисел, характеризующих типы кварков или лептонов. Существует шесть кварковых ароматов по числу типов кварков: u , d , s , c , b , t . Аромат кварков сохраняется в сильных и электромагнитных взаимодействиях.

Бинокулярный эффект обусловлен тем, что человек смотрит двумя глазами. Суть бинокулярного эффекта заключается в том, что когда оба глаза смотрят на один и тот же предмет, изображение этого предмета на сетчатке левого и правого глаза будет различно. При бинокулярном зрении смещение изображений на сетчатке глаз вызывает впечатление одного, но объемного, рельефного предмета.

Большой адронный коллайдер (англ. *Large Hadron Collider, LHC*; сокр. БАК) – ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжелых ионов (ионов свинца) и изучения продуктов их соударений.

Коллайдер построен в научно-исследовательском центре Европейского совета ядерных исследований (фр. *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN*), на границе Швейцарии и Франции, недалеко от Женевы.

Большим назван из-за своих размеров: длина основного кольца ускорителя составляет 26 659 м; адронным – из-за того, что он ускоряет адроны, т.е. тяжелые частицы, состоящие из кварков; коллайдером (англ. *collide* – сталкиваться) – из-за того, что пучки частиц ускоряются в противоположных направлениях и сталкиваются в специальных точках столкновения. **21 октября 2009 г.** состоялась торжественная церемония официального открытия БАК.

Виртуальные частицы – это теоретически вычисленные элементарные частицы, непрерывно возникающие и исчезающие в очень короткие промежутки времени.

Глюон – гипотетическая электронейтральная частица со спином 1 и нулевой массой покоя. Предполагается существование восьми глюонов, обладающих квантовой характеристикой «цвет». Глюоны «склеивают» кварки в адроны.

Ионизационное излучение – потери энергии электрона за счет неупругих ионизационных процессов взаимодействия с атомными электронами, включающие ионизацию атомов в областях низких энергий электронов.

Истинно нейтральные частицы – частицы, у которых все характеристики, отличающие их от античастиц, равны нулю. У них нет античастиц. Иногда говорят, что они сами себе античастицы. Примерами таких частиц являются фотон и π^0 -мезон.

Истинно элементарные частицы – частицы, не разложимыми на данном этапе науки. К ним относятся: кварки, лептоны (частицы вещества), фотоны, векторные бозоны, глюоны, гравитон (кванты полей).

Квантовые числа элементарных частиц – это внутренние характеристики частиц, определяющие их взаимодействия и закономерности взаимных превращений. К квантовым числам, характеризующим элементарные частицы, относятся: спиновое квантовое число (m_s) характеризует возможные значения проекции спина частицы; электрический заряд (Q); барионный заряд (B); лептонный заряд, или лептонное число (L); изотопический спин (T); странность (S); внутренняя четность (П) – квантовое число, характеризующее свойства

симметрии элементарных частиц относительно отражений координат, может быть равна $+1$ (такие частицы называют четными) и -1 (нечетные частицы), и некоторые др. Эти К. ч. применяются и к системам из нескольких элементарных частиц, в том числе к атомным ядрам.

Кварк-глюонная плазма – идеальный газ кварков и глюонов, в котором они не объединяются в отдельные нуклоны или иные многокварковые соединения.

Когнитивный процесс – это способ, с помощью которого мы приобретаем, трансформируем и храним информацию из окружения, т.е. это высшие психические процессы, которые мы используем, чтобы узнать и объяснить мир.

Комптон-эффект – явление изменения длины волны электромагнитного излучения вследствие рассеяния его электронами.

Конвергенция – сведение зрительных осей глаз за счет поворота глазных яблок навстречу друг другу. Например, это происходит при переходе взора с далекого предмета на близкий. При обратном переходе – с близкого на далекий предмет – наблюдается **дивергенция** глаз, т.е. поворот их в стороны, разведение зрительных осей.

Магнитный монополю. Частицы с электрическими зарядами существуют, но магнитные заряды никогда не наблюдаются по отдельности.

В 1931 г. английский физик Поль Дирак обратил внимание, что уравнения Максвелла обладали бы абсолютной симметрией, если предположить существование магнитного заряда. Такие частицы были названы «магнитными монополями». В середине 70-х годов XX в. идеи Дирака получили второе дыхание. Голландец Хоофт и русский физик Поляков независимо друг от друга показали, что магнитные монополи должны существовать в природе; они возникают как естественное решение в уравнениях теории объединения взаимодействий. Монополю Хоофта-Полякова должен быть массивным (около 10^{16} масс протона, т.е. достигать массы амебы) и обладать сложной внутренней структурой. Монополи пока не найдены.

Нейтрино (итал. маленькое, нейтральное). Нейтрино было найдено в 1953-1956 гг. американскими физиками. Вселенная наполнена нейтрино. На

каждый нуклон их приходится около миллиарда. Вероятность взаимодействия с веществом для них чрезвычайно мала – почти все нейтрино, рожденные в центре Солнца, проходят до его поверхности и затем сквозь Землю, не испытывая взаимодействия. Только стабильные, электрически нейтральные и слабо взаимодействующие нейтрино проходят расстояния в миллиарды световых лет, не изменяя своих свойств и храня информацию о физических условиях, в которых они образовались. Загадки происхождения космических лучей сверхвысоких энергий, подтверждение модели взрыва сверхновых звезд, изучение механизма термоядерного горения в ядре Солнца и многие другие физические проблемы решены или решаются посредством детектирования нейтрино в сложнейших экспериментах.

Рассеяние – изменение направления движения частиц в результате столкновений с другими частицами.

Резонансы – короткоживущие возбужденные состояния адронов. В отличие от других нестабильных частиц распадаются в основном за счет сильных взаимодействий. Времена их жизни лежат в интервале $10^{-22} - 10^{-24}$ с.

С-симметрия (С-преобразование, или инверсия) – операция замены всех частиц в каком-либо процессе на соответствующие им античастицы.

СР-симметрия (СР-преобразование) – операция замены всех частиц системы на соответствующие им античастицы с последующим ее зеркальным отражением.

СРТ-симметрия (СРТ-преобразование) – операция замены всех частиц системы на соответствующие им античастицы с последующим ее зеркальным отражением и изменением хода времени на обратный.

СРТ- теорема квантовой теории поля. Согласно этой теореме сохраняется абсолютная симметрия всех физических законов, процессов и реакций относительно дискретных трех операций С, Р и Т. Экспериментально не обнаружено ни одного случая нарушения **СРТ** - симметрии. Это означает, что невозможно отличить физический процесс в системе частиц от аналогичного процесса в системе античастиц, происходящего в зазеркальном мире и в обращенном назад времени.

Странные частицы – сильно взаимодействующие элементарные частицы (адроны), обладающие не нулевым значением квантового числа странности (S). К странным частицам относятся K -мезоны, гипероны и многие резонансы. Все странные частицы могут с большой вероятностью распадаться при столкновении «обычных» адронов, но при этом они обязательно возникают парами, так чтобы их суммарная странность оказалась равной нулю. Распадаются странные частицы на «обычные» с очень малой вероятностью. Эта странность в поведении частиц и явилась причиной их названия.

Тормозное излучение – электромагнитное излучение, испускаемое заряженной частицей при ее рассеянии (торможении) в электронном поле.

Упругое рассеяние – рассеяние, при котором суммарная кинетическая энергия системы частиц не изменяется, не происходит изменения внутреннего состояния частиц или превращения одних частиц в другие.

Если же кинетическая энергия переходит в другие виды энергии с изменением коллективных или микроскопических степеней свободы налетающих частиц, то рассеяние называется **неупругим**.

Фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения (фотонов).

Фотон – элементарная частица, переносящая электромагнитное взаимодействие, квант электромагнитного поля. Фотонами называют частицы света, видимого человеческим глазом (длина волны от 3,5 до 6,5 микрона). Для обозначения переносчиков коротковолнового излучения используют понятие «гамма-квант». В действительности термины гамма-квант и фотон – синонимы, их можно использовать применительно к кванту электромагнитного излучения с любой длиной волны. Термин «фотон» предложил Льюис в 1926 г. Свет состоит из фотонов. Электрическая лампочка мощностью в 100 Вт излучает примерно 100 миллиардов фотонов в секунду (10^{20}). Основная функция фотонов – переносить энергию, которая выделяется в процессах, происходящих в звездах, например, энергию термоядерного синтеза. Для нас, людей, фотоны служат одним из самых мощных инструментов познания окружающего мира: 90% ин-

формации, получаемой нами, поступает через органы зрения. Наши представления о Вселенной почти полностью сформированы наблюдением и исследованием электромагнитного излучения, поступающего из космоса.

Хиггсы – гипотетические кванты скалярного поля с нулевым спином. Бозоны Хиггса введены в физику английским физиком П. Хиггсом (1964). Бозоны Хиггса экспериментально не обнаружены, их признают далеко не все ученые, но без них невозможно создать полноценную теоретическую модель фундаментальной структуры материи.

Электроны образуют оболочку атомов, определяя их химический состав. Электрический заряд электронов отрицательный, и их кулоновское взаимодействие с положительно заряженными ядрами придает атомам стабильность, удерживая их от распада. Первым существование электрона как отдельной частицы зафиксировал в 1897 г Джозеф Джон Томсон. Его сын Джордж Томсон в 1926-1927 гг. обнаружил, что пучок электронов, рассеиваясь на тонкой пленке, дает дифракционную картину, т.е. частица электрон ведет себя как волна. Значение электронов: они определяют ход химических реакций; без них невозможен ток – основа современной цивилизации; электроны доносят до нас синхротронное излучение, рождаемое остатками сверхновых звезд, пульсаров, активных ядер галактик. Это излучение несет информацию о процессах, протекающих в этих объектах.

Явление аккомодации заключается в том, что форма хрусталика при удалении и приближении предметов меняется. Это достигается сокращением или расслаблением мышц глаза, что влечет за собой определенные ощущения напряжения или расслабления, которые мы не замечаем, но которые воспринимаются соответствующими проекционными полями коры головного мозга

Что такое «биологические часы»?

Практически у всех живых существ, от простейших до человека, состояния и функции систем ритмично изменяются. Эти изменения часто соответствуют суточному ритму, связанному с вращением Земли, хотя существуют и другие периодические колебания, соответствующие приливно-отливному или годовичному циклам. В прошлом было широко распространено мнение, что суточные ритмы человека и животных – пассивная реакция организма на периодические изменения окружающих условий. Однако во многих экспериментах было убедительно продемонстрировано сохранение этой ритмичности даже в отсутствии всех внешних факторов. Период таких свободнотекущих ритмов часто составляет меньше или больше 24 ч., что также свидетельствует о зависимости их не от внешних влияний, а от эндогенных процессов. Природа последних неизвестна; все вместе они получили название «биологических часов». Поскольку эндогенные ритмы лишь приблизительно соответствуют суточному, их называют циркадианными (околосуточными) от латинских слов *circa* – около и *dies* – день. Свободнотекущие циркадианные ритмы обладают свойствами самовозбуждающегося осциллятора. Обычно частота его колебаний синхронизирована с 24-часовым суточным циклом благодаря действию внешних захватывающих сигналов (времяздателей), – например, чередованию дня и ночи, или социальным факторам.

У человека более **100** различных физиологических параметров изменяются с периодом 24 ч. Так, температура тела рано утром минимальна, а вечером достигает максимума, становясь примерно на 1–1,5°C выше. Наиболее выражен суточный цикл сон / бодрствование, поэтому неудивительно, что многие функциональные изменения организма, обычно возникающие при наступлении сна (например, снижение температуры тела, частота сокращений сердца и дыхания)

считали с ним причинно связанными. Однако во многих экспериментах суточные колебания и перечисленных и многих других параметров сохраняются даже в условиях лишения сна. Подобные результаты дали основания полагать, что у человека и других высокоорганизованных многоклеточных животных существуют многочисленные циркадианные осцилляторы, несколько различающиеся по частоте. Все они в какой-то степени синхронизированы друг с другом, а также захватываются внешними сигналами.

Эксперименты, проведенные в специальных подземных бункерах или пещерах, показали, что у человека циркадианные ритмы сохраняются даже при изоляции от нормальной окружающей среды, хотя их период в большинстве случаев превышает 20 ч. В подобных опытах обнаружены различия в частоте и относительная независимость отдельных осцилляторов.

Отношение периодов активности и покоя в пределах циркадианного цикла непостоянно. При удлинении активной фазы последующая фаза покоя укорачивается, т.е. средняя продолжительность цикла остается неизменной. Следовательно, циркадианный ритм – первичный процесс, которому подчинен цикл сон / бодрствование.

Очевидно, эти ритмы врожденные и представляют собой филогенетическую адаптацию к временной структуре окружающего мира. Благодаря такой внутренней копии цикличности внешних событий организм способен заранее приспособливаться к ожидаемому изменению условий существования.

Ритмоводители, отвечающие за циркадианные колебания, находятся в ЦНС и локализованы в ядрах гипоталамуса.

Мельникова Майя Александровна,
доцент кафедры химии и естествознания АмГУ,
канд. техн. наук

Концепции современного естествознания (избранные разделы). *Учебное пособие.*

Изд-во АмГУ. Подписано к печати 14.11.11. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 6,74.

Тираж 50. Заказ 265.

Отпечатано в типографии АмГУ.