

Оглавление

Введение	
Глава 1 Дидактические условия формирования понятия фундаментальное взаимодействие в процессе обучения	3
1.1 Состояние вопроса о формировании понятия фундаментальное взаимодействие у учащихся	3
1.2 Фундаментальные взаимодействия и единая картина мира....	22
1.3 Анализ содержания учебников физики по вопросам фундаментальных взаимодействий.	33
Глава 2. Методика формирования понятия «фундаментальное взаимодействие.....	42
2.1. Основные идеи курса физики в связи с концепцией взаимодействия.....	42
2.2 Организация и проведение педагогического эксперимента....	53
Заключение	62
Библиографический список	63
Приложение	65

Введение

Физические знания человека о мире огромны по объему, причем объем их продолжает ускоренно расти. По своему содержанию они весьма разнородны: это и знания об отдельных явлениях, и теория, и физический эксперимент, и разнообразные применения и приложения физики.

Физика по своей природе — наука экспериментальная, но она немислима и без теории, ибо только теория делает ее обозримой и применимой на практике. В физической теории, весьма обширной и далеко не однородной, в свою очередь может быть выделена фундаментальная часть, представляющая собой основу современных знаний о движении и строении материи. Эта «фундаментальная теория» объединяет и направляет все остальные разделы физики. Роль фундаментальных знаний в педагогическом плане была велика всегда, но в полной мере начинает осознаваться в наше время, когда особенно быстро растет объем новых сведений. Очевидно, что прогресс человеческого общества невозможен без овладения следующими поколениями всей совокупностью знаний, приобретенных предыдущими поколениями. Поэтому остро стоит вопрос о том, чтобы фундаментальные физические положения, изучение которых формирует научное мировоззрение учащихся, составляя картину мира, входили в содержание школьного курса физики.

При определении содержания и структуры школьного обучения все большее место отводят научным обобщениям различного характера. Причем речь идет не только о суммировании и систематизации изученного, но и о синтезе знаний при построении учебной их системы, о новых подходах к обучению, основанных на исходных содержательных обобщениях. За последние годы в многочисленных работах по методологии научного познания философами достаточно определенно выявлено, что основной и ведущей формой знания является научная теория. Выяснено, что в задачи обучения подрастающих поколений в качестве первоочередной задачи наряду с передачей суммы знаний по основам наук должна входить передача

современного научно-теоретического способа мышления, выработанного человечеством в процессе исторического развития общества. А современный способ мышления прежде всего характерен опорой на исходные теоретические обобщения.

Для научного применения теоретического обобщения при изучении физики нужна конкретная физическая концепция, общее «физическое основание», позволяющее развернуть педагогические исследования в указанном направлении. Мы в данной работе в качестве такого основания рассмотрим концепцию фундаментальных взаимодействий.

Цель исследования: рассмотреть методику преподавания темы «Фундаментальные взаимодействия» в средней общеобразовательной школе

Объект исследования: процесс обучения учащихся физике.

Предмет исследования: выявление особенностей методики формирования основных понятий у учащихся по теме «Фундаментальные взаимодействия»

В соответствии с обозначенной целью, предметом и объектом исследования поставлены следующие **задачи:**

1. Изучить состояние исследуемой проблемы в практике обучения учащихся физике;
2. Провести теоретический анализ проблемы в методической литературе по теме исследования;
3. Систематизировать приемы и методы для повышения качества обучения учащихся по теме «фундаментальные взаимодействия»
4. Провести педагогический эксперимент.

Решение поставленных задач потребовало использования следующих методов исследования:

1. Анализ учебной и методической литературы, связанной с различными методами активизации познавательной деятельности.
2. Проведение педагогического эксперимента.

Исследование проводилось в МБОУ СОШ № 27 г. Красноярска.

Глава 1 Дидактические условия формирования понятия фундаментальное взаимодействие в процессе обучения

1.1 Состояние вопроса о формировании понятия фундаментальное взаимодействие у учащихся

С давних времен человек стремился познать и понять окружающий его физический мир. Оказывается, все бесконечное разнообразие физических процессов, происходящих в нашем мире, можно объяснить существованием в природе очень малого количества фундаментальных взаимодействий. Взаимодействием их друг с другом объясняется упорядоченность расположения небесных тел во Вселенной. Именно они являются теми «стихиями», которые движут небесными телами, порождают свет и делают возможной саму жизнь.

Таким образом, все процессы и явления в природе, будь то падение яблока, взрыв сверхновой звезды, преломление света, кипение воды, происходят благодаря этим взаимодействиям.

Современные экспериментальные данные свидетельствуют, что существует только четыре качественно различных вида взаимодействий, в которых участвуют элементарные частицы. Эти взаимодействия называются фундаментальными, то есть самыми основными, первичными, исходными. Если обратить внимание на все многообразие свойств окружающего нас Мира, то кажется совершенно удивительным, что в Природе есть только четыре фундаментальных взаимодействия, ответственных за все явления.

Помимо качественных различий, фундаментальные взаимодействия отличаются в количественном отношении по силе воздействия, которая характеризуется термином *интенсивность*. По мере увеличения интенсивности фундаментальные взаимодействия располагаются в следующем порядке: гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное. Каждое из этих взаимодействий характеризуется соответствующим

параметром, называемым константой связи, численное значение которого определяет интенсивность взаимодействия. [1]

Таблица 1

Основные характеристики фундаментальных взаимодействий

Взаимодействие	Взаимодействующие частицы	Радиус действия, м	Относительная интенсивность
Гравитационное	Все	∞	1
Слабое	Все, кроме фотона	10^{-17}	10^{32}
Электромагнитное	Заряженные частицы	∞	10^{36}
Сильное	Адроны	10^{-15}	10^{38}

Относительная интенсивность взаимодействий – отношение сил фундаментальных взаимодействий двух протонов, находящихся на расстоянии, равном их диаметру (≈ 2 фм).

Каким образом физические объекты осуществляют фундаментальные взаимодействия между собой? На качественном уровне ответ на этот вопрос выглядит следующим образом. Фундаментальные взаимодействия переносятся квантами. При этом в квантовой области фундаментальным взаимодействиям отвечают соответствующие элементарные частицы, называемые элементарными частицами - переносчиками взаимодействий. В процессе взаимодействия физический объект испускает частицы - переносчики взаимодействия, которые поглощаются другим физическим объектом. Это ведет к тому, что объекты как бы чувствуют друг друга, их энергия, характер движения, состояние изменяются, то есть они испытывают взаимное влияние.

В современной физике высоких энергий все большее значение приобретает идея объединения фундаментальных взаимодействий. Согласно

идеям объединения, в Природе существует только одно единое фундаментальное взаимодействие, проявляющее себя в конкретных ситуациях как гравитационное, или как слабое, или как электромагнитное, или как сильное, или как их некоторая комбинация. Успешной реализацией идей объединения послужило создание ставшей уже стандартной объединенной теории электромагнитных и слабых взаимодействий. Идет работа по развитию единой теории электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий, получившей название теории великого объединения. Предпринимаются попытки найти принцип объединения всех четырех фундаментальных взаимодействий. Мы последовательно рассмотрим основные проявления фундаментальных взаимодействий.

Гравитационное взаимодействие

Это взаимодействие носит универсальный характер, в нем участвуют все виды материи, все объекты природы, все элементарные частицы. Общепринятой классической (не квантовой) теорией гравитационного взаимодействия является эйнштейновская общая теория относительности. Гравитация определяет движение планет в звездных системах, играет важную роль в процессах, протекающих в звездах, управляет эволюцией Вселенной, в земных условиях проявляет себя как сила взаимного притяжения. Конечно, мы перечислили только небольшое число примеров из огромного списка эффектов гравитации. [2]

Согласно общей теории относительности, гравитация связана с кривизной пространства-времени и описывается в терминах так называемой римановой геометрии. В настоящее время все экспериментальные и наблюдательные данные о гравитации укладываются в рамки общей теории относительности. Однако данные о сильных гравитационных полях по существу отсутствуют, поэтому экспериментальные аспекты этой теории содержат много вопросов. Такая ситуация порождает появление различных альтернативных теорий гравитации, предсказания которых практически

неотличимы от предсказаний общей теории относительности для физических эффектов в Солнечной системе, но ведут к другим следствиям в сильных гравитационных полях.

Если пренебречь всеми релятивистскими эффектами и ограничиться слабыми стационарными гравитационными полями, то общая теория относительности сводится к ньютоновской теории всемирного тяготения. В этом случае, как известно, потенциальная энергия взаимодействия двух точечных частиц с массами m_1 и m_2 дается соотношением

$$V(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r},$$

где r - расстояние между частицами, G - ньютоновская гравитационная постоянная, играющая роль константы гравитационного взаимодействия. Данное соотношение показывает, что потенциальная энергия взаимодействия $V(r)$ отлична от нуля при любом конечном r и спадает к нулю очень медленно. По этой причине говорят, что гравитационное взаимодействие является дальнодействующим.

Из многих физических предсказаний общей теории относительности отметим три. Теоретически установлено, что гравитационные возмущения могут распространяться в пространстве в виде волн, называемых гравитационными. Распространяющиеся слабые гравитационные возмущения во многом аналогичны электромагнитным волнам. Их скорость равна скорости света, они имеют два состояния поляризации, для них характерны явления интерференции и дифракции. Однако в силу чрезвычайно слабого взаимодействия гравитационных волн с веществом их прямое экспериментальное наблюдение до сих пор не было возможно. Тем не менее данные некоторых астрономических наблюдений по потере энергии в системах двойных звезд свидетельствуют о возможном существовании гравитационных волн в природе.

Теоретическое исследование условий равновесия звезд в рамках общей теории относительности показывает, что при определенных условиях достаточно массивные звезды могут начать катастрофически сжиматься. Это оказывается возможным на достаточно поздних стадиях эволюции звезды, когда внутреннее давление, обусловленное процессами, ответственными за светимость звезды, не в состоянии уравновесить давление сил тяготения, стремящихся сжать звезду. В результате процесс сжатия уже ничем не может быть остановлен. Описанное физическое явление, предсказанное теоретически в рамках общей теории относительности, получило название гравитационного коллапса. Исследования показали, что если радиус звезды становится меньше так называемого гравитационного радиуса

$$R_g = 2GM / c^2,$$

где M - масса звезды, а c - скорость света, то для внешнего наблюдателя звезда гаснет. Никакая информация о процессах, идущих в этой звезде, не может достичь внешнего наблюдателя. При этом тела, падающие на звезду, свободно пересекают гравитационный радиус. Если в качестве такого тела подразумевается наблюдатель, то ничего, кроме усиления гравитации, он не заметит. Таким образом, возникает область пространства, в которую можно попасть, но из которой ничего не может выйти, включая световой луч. Подобная область пространства называется черной дырой. Существование черных дыр является одним из теоретических предсказаний общей теории относительности, некоторые альтернативные теории гравитации построены именно так, что они запрещают такого типа явления. В связи с этим вопрос о реальности черных дыр имеет исключительно важное значение. В настоящее время имеются наблюдательные данные, свидетельствующие о наличии черных дыр во Вселенной.

В рамках общей теории относительности впервые удалось сформулировать проблему эволюции Вселенной. Тем самым Вселенная в

целом становится не предметом спекулятивных рассуждений, а объектом физической науки. Раздел физики, предметом которого является Вселенная в целом, называется космологией. В настоящее время считается твердо установленным, что мы живем в расширяющейся Вселенной.

Современная картина эволюции Вселенной основывается на представлении о том, что Вселенная, включая такие ее атрибуты, как пространство и время, возникла в результате особого физического явления, называемого Большой Взрыв, и с тех пор расширяется. Согласно теории эволюции Вселенной, расстояния между далекими галактиками должны увеличиваться со временем, и вся Вселенная должна быть заполнена тепловым излучением с температурой порядка 3 К. Эти предсказания теории находятся в прекрасном соответствии с данными астрономических наблюдений. При этом оценки показывают, что возраст Вселенной, то есть время, прошедшее с момента Большого Взрыва, составляет порядка 10 млрд лет. Что касается деталей Большого Взрыва, то это явление слабо изучено и можно говорить о загадке Большого Взрыва как о вызове физической науке в целом. Не исключено, что объяснение механизма Большого Взрыва связано с новыми, пока еще неизвестными законами Природы. Общепринятый современный взгляд на возможное решение проблемы Большого Взрыва основывается на идее объединения теории гравитации и квантовой механики.

Понятие о квантовой гравитации

Можно ли вообще говорить о квантовых проявлениях гравитационного взаимодействия? Как принято считать, принципы квантовой механики носят универсальный характер и применимы к любому физическому объекту. В этом смысле гравитационное поле не представляет исключения. Теоретические исследования показывают, что на квантовом уровне гравитационное взаимодействие переносится элементарной частицей, называемой гравитон. Можно отметить, что гравитон является безмассовым

бозоном со спином 2. Гравитационное взаимодействие между частицами, обусловленное обменом гравитоном, условно изображается следующим образом:



Частица испускает гравитон, в силу чего состояние ее движения изменяется. Другая частица поглощает гравитон и также изменяет состояние своего движения. В результате возникает воздействие частиц друг на друга.[4]

Как мы уже отмечали, константой связи, характеризующей гравитационное взаимодействие, является ньютоновская константа G . Хорошо известно, что G - размерная величина. Очевидно, что для оценки интенсивности взаимодействия удобно иметь безразмерную константу связи. Чтобы получить такую константу, можно использовать фундаментальные постоянные: \hbar (постоянная Планка) и c (скорость света) - и ввести какую-нибудь эталонную массу, например массу протона m_p . Тогда безразмерная константа связи гравитационного взаимодействия будет

$$Gm_p^2/(\hbar c) \sim 6 \cdot 10^{-39},$$

что, конечно, является очень малой величиной.

Интересно отметить, что из фундаментальных постоянных G , \hbar , c можно построить величины, имеющие размерность длины, времени, плотности, массы, энергии. Эти величины называются планковскими. В частности, планковская длина l_P и планковское время t_P выглядят следующим образом:

$$l_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.6 \cdot 10^{-33} \text{ см}, \quad t_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 1.6 \cdot 10^{-43} \text{ с}.$$

Каждая фундаментальная физическая константа характеризует определенный круг физических явлений: G - гравитационные явления, \hbar - квантовые, c - релятивистские. Поэтому если в какое-то соотношение входят одновременно G , \hbar , c , то это значит, что данное соотношение описывает явление, которое одновременно является гравитационным, квантовым и релятивистским. Таким образом, существование планковских величин указывает на возможное существование соответствующих явлений в Природе.

Конечно, численные значения l_{Pl} и t_{Pl} очень малы по сравнению с характерными значениями величин в макромире. Но это означает только то, что квантовогравитационные эффекты слабо проявляют себя. Они могли быть существенны лишь тогда, когда характерные параметры стали бы сравнимыми с планковскими величинами.

Отличительной чертой явлений микромира является то обстоятельство, что физические величины оказываются подверженными так называемым квантовым флуктуациям. Это означает, что при многократных измерениях физической величины в определенном состоянии принципиально должны получаться различные численные значения, обусловленные неконтролируемым взаимодействием прибора с наблюдаемым объектом. Вспомним, что гравитация связана с проявлением кривизны пространства-времени, то есть с геометрией пространства-времени. Поэтому следует ожидать, что на временах порядка t_{Pl} и расстояниях порядка l_{Pl} геометрия пространства-времени должна стать квантовым объектом, геометрические характеристики должны испытывать квантовые флуктуации. Другими словами, на планковских масштабах нет никакой фиксированной

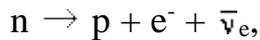
пространственно-временной геометрии, образно говоря, пространство-время представляет собой бурлящую пену.

Последовательная квантовая теория гравитации не построена. В силу чрезвычайно малых значений l_{Pl} , t_{Pl} следует ожидать, что в любом обозримом будущем не удастся поставить эксперименты, в которых проявили бы себя квантовогравитационные эффекты. Поэтому теоретическое исследование вопросов квантовой гравитации остается единственной возможностью продвижения вперед. Есть ли, однако, явления, где квантовая гравитация могла бы оказаться существенной? Да, есть, и мы о них уже говорили. Это гравитационный коллапс и Большой Взрыв. Согласно классической теории гравитации, объект, подверженный гравитационному коллапсу, должен сжиматься до сколь угодно малых размеров. Это означает, что его размеры могут стать сравнимыми с l_{Pl} , где классическая теория уже неприменима. Точно так же в процессе Большого Взрыва возраст Вселенной был сравним с t_{Pl} и она имела размеры порядка l_{Pl} . Это означает, что понимание физики Большого Взрыва невозможно в рамках классической теории. Таким образом, описание конечной стадии гравитационного коллапса и начальной стадии эволюции Вселенной может быть осуществлено только с привлечением квантовой теории гравитации.

Слабое взаимодействие

Это взаимодействие является наиболее слабым из фундаментальных взаимодействий, экспериментально наблюдаемых в распадах элементарных частиц, где принципиально существенными являются квантовые эффекты. Напомним, что квантовые проявления гравитационного взаимодействия никогда не наблюдались. Слабое взаимодействие выделяется с помощью следующего правила: если в процессе взаимодействия участвует элементарная частица, называемая нейтрино (или антинейтрино), то данное взаимодействие является слабым.[3]

Типичный пример слабого взаимодействия - это бета-распад нейтрона



где n - нейтрон, p - протон, e^- - электрон, $\bar{\nu}_e$ - электронное антинейтрино.

Следует, однако, иметь в виду, что указанное выше правило совсем не означает, что любой акт слабого взаимодействия обязан сопровождаться нейтрино или антинейтрино. Известно, что имеет место большое число безнейтринных распадов. В качестве примера можно отметить процесс распада лямбда-гиперона Λ на протон p и отрицательно заряженный пион π^- . По современным представлениям нейтрон и протон не являются истинно элементарными частицами, а состоят из элементарных частиц, называемых кварками.

Интенсивность слабого взаимодействия характеризуется константой связи Ферми G_F . Константа G_F размерна. Чтобы образовать безразмерную величину, необходимо использовать какую-нибудь эталонную массу, например массу протона m_p . Тогда безразмерная константа связи будет

$$G_F m_p^2 \sim 10^{-5}.$$

Видно, что слабое взаимодействие гораздо интенсивнее гравитационного.

Слабое взаимодействие в отличие от гравитационного является короткодействующим. Это означает, что слабое взаимодействие между частицами начинает действовать, только если частицы находятся достаточно близко друг к другу. Если же расстояние между частицами превосходит некоторую величину, называемую характерным радиусом взаимодействия, слабое взаимодействие не проявляет себя. Экспериментально установлено, что характерный радиус слабого взаимодействия порядка 10^{-15} см, то есть

слабое взаимодействие, сосредоточен на расстояниях меньше размеров атомного ядра.[5]

Почему можно говорить о слабом взаимодействии как о независимом виде фундаментальных взаимодействий? Ответ прост. Установлено, что есть процессы превращений элементарных частиц, которые не сводятся к гравитационным, электромагнитным и сильным взаимодействиям. Хороший пример, показывающий, что существуют три качественно различных взаимодействия в ядерных явлениях, связан с радиоактивностью. Эксперименты указывают на наличие трех различных видов радиоактивности: α -, β - и γ -радиоактивных распадов. При этом α -распад обусловлен сильным взаимодействием, γ -распад - электромагнитным. Оставшийся β -распад не может быть объяснен электромагнитным и сильным взаимодействиями, и мы вынуждены принять, что есть еще одно фундаментальное взаимодействие, названное слабым. В общем случае необходимость введения слабого взаимодействия обусловлена тем, что в природе происходят процессы, в которых электромагнитные и сильные распады запрещены законами сохранения.

Хотя слабое взаимодействие существенно сосредоточено внутри ядра, оно имеет определенные макроскопические проявления. Как мы уже отмечали, оно связано с процессом β -радиоактивности. Кроме того, слабое взаимодействие играет важную роль в так называемых термоядерных реакциях, ответственных за механизм энерговыделения в звездах.

Удивительнейшим свойством слабого взаимодействия является существование процессов, в которых проявляется зеркальная асимметрия. На первый взгляд кажется очевидным, что разница между понятиями левое и правое условна. Действительно, процессы гравитационного, электромагнитного и сильного взаимодействия инвариантны относительно

пространственной инверсии, осуществляющей зеркальное отражение. Говорят, что в таких процессах сохраняется пространственная четность P . Однако экспериментально установлено, что слабые процессы могут протекать с несохранением пространственной четности и, следовательно, как бы чувствуют разницу между левым и правым. В настоящее время имеются твердые экспериментальные доказательства, что несохранение четности в слабых взаимодействиях носит универсальный характер, оно проявляет себя не только в распадах элементарных частиц, но и в ядерных и даже атомных явлениях. Следует признать, что зеркальная асимметрия представляет собой свойство Природы на самом фундаментальном уровне.

Несохранение четности в слабых взаимодействиях выглядело настолько необычным свойством, что практически сразу после его открытия теоретики предприняли попытки показать, что на самом деле существует полная симметрия между левым и правым, только она имеет более глубокий смысл, чем это ранее считалось. Зеркальное отражение должно сопровождаться заменой частиц на античастицы (зарядовое сопряжение C), и тогда все фундаментальные взаимодействия должны быть инвариантными. Однако позднее было установлено, что эта инвариантность не является универсальной. Существуют слабые распады так называемых долгоживущих нейтральных каонов на пионы π^+ , π^- , запрещенные, если бы указанная инвариантность реально имела место. Таким образом, отличительным свойством слабого взаимодействия является его CP -неинвариантность. Возможно, что это свойство ответственно за то обстоятельство, что вещество во Вселенной значительно превалирует над антивеществом, построенным из античастиц. Мир и антимир несимметричны.

Вопрос о том, какие частицы являются переносчиками слабого взаимодействия, долгое время был неясен. Понимания удалось достичь сравнительно недавно в рамках объединенной теории электрослабых

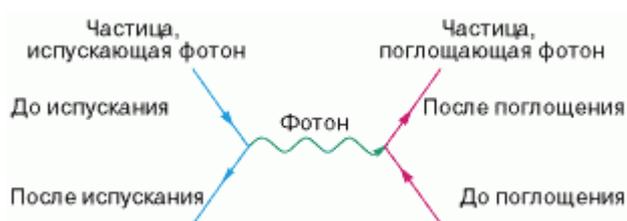
взаимодействий - теории Вайнберга-Салама-Глэшоу. В настоящее время общепринято, что переносчиками слабого взаимодействия являются так называемые w^\pm - и Z^0 -бозоны. Это заряженные w^\pm и нейтральная Z^0 элементарные частицы со спином 1 и массами, равными по порядку величины $100 m_p$.

Электромагнитное взаимодействие

В электромагнитном взаимодействии участвуют все заряженные тела, все заряженные элементарные частицы. В этом смысле оно достаточно универсально. Классической теорией электромагнитного взаимодействия является максвелловская электродинамика. В качестве константы связи принимается заряд электрона e .

Если рассмотреть два покоящихся точечных заряда q_1 и q_2 , то их электромагнитное взаимодействие сведется к известной электростатической силе. Это означает, что взаимодействие является дальнодействующим и медленно спадает с ростом расстояния между зарядами. [6]

Классические проявления электромагнитного взаимодействия хорошо известны, и мы не будем на них останавливаться. С точки зрения квантовой теории переносчиком электромагнитного взаимодействия является элементарная частица фотон - безмассовый бозон со спином 1. Квантовое электромагнитное взаимодействие между зарядами условно изображается следующим образом:



Заряженная частица испускает фотон, в силу чего состояние ее движения изменяется. Другая частица поглощает этот фотон и также изменяет состояние своего движения. В результате частицы как бы чувствуют наличие друг друга. Хорошо известно, что электрический заряд является размерной величиной. Удобно ввести безразмерную константу связи электромагнитного взаимодействия. Для этого надо использовать фундаментальные постоянные \hbar и c . В результате приходим к следующей безразмерной константе связи, называемой в атомной физике постоянной тонкой структуры

$$\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137.$$

Легко заметить, что данная константа значительно превышает константы гравитационного и слабого взаимодействий.

С современной точки зрения электромагнитное и слабое взаимодействия представляют собой различные стороны единого электрослабого взаимодействия. Создана объединенная теория электрослабого взаимодействия - теория Вайнберга-Салама-Глэшоу, объясняющая с единых позиций все аспекты электромагнитных и слабых взаимодействий. Можно ли понять на качественном уровне, как происходит разделение объединенного взаимодействия на отдельные, как бы независимые взаимодействия?

Пока характерные энергии достаточно малы, электромагнитное и слабое взаимодействия отделены и не влияют друг на друга. С ростом энергии начинается их взаимовлияние, и при достаточно больших энергиях эти взаимодействия сливаются в единое электрослабое взаимодействие. Характерная энергия объединения оценивается по порядку величины как 10^2 ГэВ (ГэВ - это сокращенное от гигаэлектрон-вольт, $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$, $1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Для сравнения отметим, что характерная

энергия электрона в основном состоянии атома водорода порядка 10^{-8} ГэВ, характерная энергия связи атомного ядра порядка 10^{-2} ГэВ, характерная энергия связи твердого тела порядка 10^{-10} ГэВ. Таким образом, характерная энергия объединения электромагнитных и слабых взаимодействий огромна по сравнению с характерными энергиями в атомной и ядерной физике. По этой причине электромагнитное и слабое взаимодействия не проявляют в обычных физических явлениях своей единой сущности.

Сильное взаимодействие

Сильное взаимодействие ответственно за устойчивость атомных ядер. Поскольку атомные ядра большинства химических элементов стабильны, то ясно, что взаимодействие, которое удерживает их от распада, должно быть достаточно сильным. Хорошо известно, что ядра состоят из протонов и нейтронов. Чтобы положительно заряженные протоны не разлетелись в разные стороны, необходимо наличие сил притяжения между ними, превосходящих силы электростатического отталкивания. Именно сильное взаимодействие является ответственным за эти силы притяжения.

Характерной чертой сильного взаимодействия является его зарядовая независимость. Ядерные силы притяжения между протонами, между нейтронами и между протоном и нейтроном по существу одинаковы. Отсюда следует, что с точки зрения сильных взаимодействий протон и нейтрон неотличимы и для них используется единый термин *нуклон*, то есть частица ядра.

Характерный масштаб сильного взаимодействия можно проиллюстрировать рассмотрев два покоящихся нуклона. Теория приводит к потенциальной энергии их взаимодействия в виде потенциала Юкавы

$$V(r) = -g^2 \frac{e^{-r/\lambda_0}}{r},$$

где величина $r_0 \approx 10^{-13}$ см и совпадает по порядку величины с характерным размером ядра, g - константа связи сильного взаимодействия. Это соотношение показывает, что сильное взаимодействие является короткодействующим и по существу полностью сосредоточено на расстояниях, не превышающих характерного размера ядра. При $r > r_0$ оно практически исчезает. Известным макроскопическим проявлением сильного взаимодействия служит эффект α -радиоактивности. Следует, однако, иметь в виду, что потенциал Юкавы не является универсальным свойством сильного взаимодействия и не связан с его фундаментальными аспектами. [7]

В настоящее время существует квантовая теория сильного взаимодействия, получившая название квантовой хромодинамики. Согласно этой теории, переносчиками сильного взаимодействия являются элементарные частицы - глюоны. По современным представлениям частицы, участвующие в сильном взаимодействии и называемые адронами, состоят из элементарных частиц - кварков.

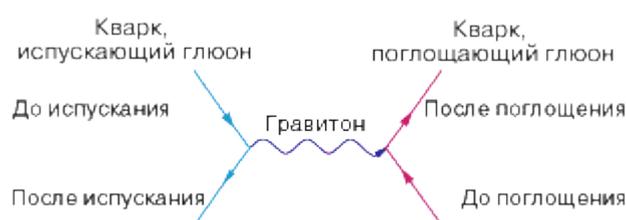
Кварки представляют собой фермионы со спином $1/2$ и ненулевой массой. Наиболее удивительным свойством кварков является их дробный электрический заряд. Кварки формируются в три пары (три поколения дублетов), обозначаемые следующим образом:

u	c	t
d	s	b

Каждый тип кварка принято называть ароматом, так что существуют шесть кварковых ароматов. При этом u-, c-, t-кварки имеют электрический заряд $2/3|e|$, а d-, s-, b-кварки - электрический заряд $-1/3|e|$, где e - заряд электрона. Кроме того, существуют три кварка данного аромата. Они отличаются квантовым числом, называемым цветом и принимающим три значения: желтый, синий, красный. Каждому кварку соответствует антикварк,

имеющий по отношению к данному кварку противоположный электрический заряд и так называемый антицвет: антижелтый, антисиний, антикрасный. Принимая во внимание число ароматов и цветов, мы видим, что всего существуют 36 кварков и антикварков.

Кварки взаимодействуют друг с другом посредством обмена восьмью глюонами, которые представляют собой безмассовые бозоны со спином 1. В процессе взаимодействия цвета кварков могут изменяться. При этом сильное взаимодействие условно изображается следующим образом:

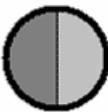
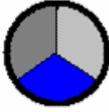


Кварк, входящий в состав адрона, испускает глюон, в силу чего состояние движения адрона изменяется. Этот глюон поглощается кварком, входящим в состав другого адрона, и меняет состояние его движения. В результате возникает взаимодействие адронов друг на друга.

Природа устроена так, что взаимодействие кварков всегда ведет к образованию бесцветных связанных состояний, которые как раз и являются адронами. Например, протон и нейтрон составлены из трех кварков: $p = uud$, $n = udd$. Пион π^- составлен из кварка u и антикварка \bar{d} : $\pi^- = u\bar{d}$. Отличительная черта кварк-кваркового взаимодействия через глюоны состоит в том, что с уменьшением расстояния между кварками их взаимодействие ослабляется. Это явление получило название асимптотической свободы и ведет к тому, что внутри адронов кварки можно рассматривать как свободные частицы. Асимптотическая свобода естественным образом вытекает из квантовой хромодинамики. Имеются экспериментальные и теоретические указания на то, что с ростом расстояния взаимодействие между кварками должно

возрастать, в силу чего кваркам энергетически выгодно находиться внутри адрона. Это означает, что мы можем наблюдать только бесцветные объекты - адроны. Одиночные кварки и глюоны, обладающие цветом, не могут существовать в свободном состоянии. Явление удержания элементарных частиц, обладающих цветом, внутри адронов получило название конфайнмента. Для объяснения конфайнмента предлагались различные модели, однако последовательное описание, вытекающее из первых принципов теории, до сих пор не построено. С качественной точки зрения трудности связаны с тем, что, обладая цветом, глюоны взаимодействуют со всеми цветными объектами, в том числе и друг с другом. По этой причине квантовая хромодинамика является существенно нелинейной теорией и приближенные методы исследования, принятые в квантовой электродинамике и электрослабой теории, оказываются не вполне адекватными в теории сильных взаимодействий. [14]

Таблица 2 Участие основных элементарных частиц во взаимодействиях

Лептоны	Нейтральный  (нейтрино)	Заряженный  (электрон)
Адроны	Нейтральный  (нейтрон)	Заряженный  (протон)
Фотон		
Цветовое обозначение взаимодействий		
Гравитационное		
Слабое		
Электромагнитное		
Сильное		

В существующем школьном курсе физики прослеживается основная концепция — объяснение разнообразных явлений действием силы. Это объясняется ведущей ролью механики в современном курсе физики. В разных разделах физики сила выступает как причина множества явлений: электроны притягиваются к ядру электрической силой, молекулы притягиваются и отталкиваются молекулярными силами, в химическом источнике тока заряды разделяются химическими силами, в поверхностном слое жидкости действует сила поверхностного натяжения, нуклоны в ядре притягиваются ядерными силами и т. д. В большинстве перечисленных случаев ускорение измерить нельзя, т. е. нельзя говорить о силе в точном динамическом смысле.

Следует отметить, что избыточное употребление термина «сила» в школьном курсе физики, может привести к механическим представлениям о немеханических явлениях. Как показано в научной литературе, структура и конкретное содержание основной теоретической части курса физики должно быть непосредственно связано с иерархией взаимодействий в различных пространственных диапазонах. Проявление фундаментальных взаимодействий в порядке, обусловленном уменьшением расстояний между взаимодействующими материальными точками, охватывает все многообразие физических явлений. В свою очередь, способы описания движения как изменения состояния в результате взаимодействия зависят от масштабов последнего и охватываются основными разделами физики (механика, электродинамика, атомная физика, и т.д.). Понятие о взаимодействии, универсальные величины и универсальные законы объединяют между собой разделы физики в единую науку. Поэтому в школьном курсе в явной форме должны изучаться конкретные физические взаимодействия в определенных пространственно-временных рамках.

Как известно модель физической картины мира есть необходимый элемент при формировании диалектико-материалистического мировоззрения учащихся и составляет основу их научного миропонимания. Задачи

формирования мировоззрения учащихся могут быть решены при условии, что структура и содержание курса физики будут соответствовать формам теоретических обобщений на основе моделирования. [8]

1.2 Фундаментальные взаимодействия и единая картина мира

Формирование научно-теоретического способа мышления предполагает изложение учебной системы знаний на основе единых обобщений, с одних и тех же позиций. Ограничиться изучением отдельных теорий, не устанавливая связи между ними, не выявляя их общего основания, — значит не до конца использовать мощь современного способа мышления. Поэтому в учебных целях необходимо построение единой картины мира, соответствующей современному способу мышления. В основе физической картины мира в настоящее время лежит иерархия расстояний — взаимодействий — законов, а сущность ее составляют общие интерпретации физических теорий. Хотя при развитии науки последующие физические концепции в идейном, мировоззренческом плане и включают в себя предыдущие, они предназначены для своей, новой предметной области. Таким образом, теории не сливаются в единую «метатеорию», и физическая картина мира — это прежде всего общая интерпретация физических теорий. Единство же ее предполагает единство их оснований, наличие общефизических идеализированных объектов, универсальных понятий, качественное объединение концепций.

Выделено четыре фундаментальных взаимодействия, ответственных как за изменение состояния физических объектов, так и за их строение на всех исследованных пространственно-временных уровнях (гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое взаимодействия). Взаимодействия рассматриваются в рамках общей для всех упоминавшихся физических теорий геометрической модели пространства — времени — материи. При этом вводятся идеализированный физический объект и его универсальные характеристики — физические величины и «механизм» взаимодействия. Эти

исходные понятия дополняются фундаментальными законами сохранения и составляют основание единой физической картины мира.

Постановка вопроса о единой концепции в физике достаточно условна. Следует иметь в виду, что это этап на пути познания истины. Единая картина так или иначе ограничена предметной областью, изученной в настоящее время. При этом неизбежно имеют место противоречия и трудности, указывающие на незавершенность и непрерывное развитие процесса познания. Рассматриваются различные модели окружающего мира и проведем краткий ее анализ. (литература)

Геометрическая модель пространства-времени-материи

Поскольку формами существования материи являются пространство и время, то геометрическая модель универсальна для всех проявлений материи, а так как время в четырехмерном формализме объединяется с пространством, то она охватывает и движение. (Впрочем, и в трехмерном пространстве механическое движение нельзя описать без геометрических понятий точки, линии, перемещения.) Важнейший исходный элемент модели — точка, соответствующая физическому событию различение точек возможно лишь при условии, что различаются события, в них происходящие. [15]

Элементарное событие состоит в нахождении материального точечного объекта (материальной точки) в точке трехмерного пространства x в момент времени t . Перевод геометрической модели пространства на аналитический язык называют арифметизацией пространства-времени; она представляет собой установление координат точки x и момента времени для всех событий и сводится к измерениям расстояний (длин) и промежутков времени. С помощью измерений геометрическая модель пространства-времени становится идеализированным объектом. [9]

Существенно, что измерения (t, x) возможны лишь в системе отсчета, а последняя задается макроскопическими материальными телами и устройствами (жесткие масштабы, часы). Это значит, что пространство-

время не существует в отрыве от материальных объектов. Измерения в системах отсчета базируются на принципе универсального постоянства скорости света и на допущении существования стандартных часов. Эти положения есть не что иное, как содержательные абстракции, лежащие в основе всех рассмотренных физических теорий. Последние исходят из модели непрерывного, однородного, изотропного четырехмерного пространства-времени. Непрерывность пространства-времени связана с существованием точечных событий. Так, движущаяся материальная точка попадает в точки пространства в «точечные» моменты времени. На практике «точечность» физического объекта, как и точка пространства-времени, — всегда идеализация, основанная на той или иной разрешающей способности измерительных приборов. В макроскопической области возможны прямые измерения расстояний вплоть до 10^{-6} см и времен (радиотехническими средствами) до 10^{-11} с. Никакой дискретности пространства и времени до этих пределов не обнаружено. В области меньших интервалов прямые измерения не подходят, но о непрерывности пространства-времени можно судить и по косвенным данным: по совпадению с экспериментом теоретических выводов, основанных на непрерывности.

В микроскопической области, где проявляется действие соотношения неопределенностей, дело обстоит несколько сложнее. Прежде всего прямые измерения расстояний в $10^{-6} - 10^{-15}$ см и соответствующих времен невозможны, так что заключение о непрерывности можно сделать лишь сравнивая выводы теории с опытными данными.[16]

Естественно искать подтверждение идеи о непрерывности пространства-времени в квантовой электродинамике — единственной разработанной современной теории взаимодействия на уровне элементарных частиц, где взаимодействие состоит в поглощении или испускании кванта электромагнитного поля заряженной частицей. Это событие считается точечным, а теория называется локальной. Квантовая электродинамика также исходит из предположения о непрерывности пространства-времени. Чтобы

проверить ее применимость к малым расстояниям, следует изучать с ее помощью взаимодействия на малых расстояниях, т. е. рассматривать частицы достаточно больших энергий.[10]

Подчеркнем, что непрерывность пространства есть свойство, относящееся к его модели. Будет ли пространство непрерывным и за достигнутым пределом измерений, вообще говоря, неизвестно. Поэтому говорить о единой картине мира, основанной на геометрической модели, представляется возможным лишь в рамках изученной пространственной области — начиная от границ мегамира (10^{25} м) и до границы микромира ($10^{-17} - 10^{-18}$ м).

Следующие два свойства — однородность и изотропность пространства и времени. Первое из них — это равноправие всех точек, а второе — равноправие всех направлений в пространстве-времени. Эти свойства называют также симметриями пространства: однородность выражает симметрию по отношению к параллельному переносу (или сдвигу) всех точек пространства-времени на некоторый отрезок), изотропность — симметрию по отношению к повороту вокруг заданного направления на некоторый угол.

Свойства однородности и изотропности приводят к определенным физическим следствиям — к законам сохранения энергии и импульса. Вся совокупность экспериментальных фактов, находящихся в согласии с законами сохранения, говорит об однородности и изотропности пространства-времени.

Подведем итог. Исходная геометрическая модель материи в пространстве-времени — материальная точка. Она одинаково применима на всех структурных уровнях делений материи. Что касается физических измерений (материальную точку нужно физически, а не мысленно локализовать в малом объеме пространства), то с ними связаны принципиальные проблемы, выливающиеся в различные способы описания движений. Заметим, что локализация материальной точки в пространстве в

макромире ограничена только ее размерами, тогда как в микромире на сцену выступает соотношение неопределенностей. Таким образом, материальная точка и точка в пространстве-времени при реализации геометрической модели— всегда заведомые идеализации.

Фундаментальные физические величины

Рассмотрим свободную материальную точку. Согласно геометрической модели она будет находиться в каждый момент времени в точке пространства (непрерывность пространства и времени!). Введем физические характеристики, описывающие ее состояние поскольку перемещения (переносы) в пространстве (и во времени) в силу однородности его не могут изменить состояния свободной (т. е. уединенной) материальной точки, должна существовать величина, не меняющаяся при таких перемещениях. Очевидно, что при переносе не изменяются приращения координат в четырехмерном пространстве. Чтобы охарактеризовать состояние точки в определенный момент времени, эти приращения следует взять элементарными и отнести к приращению инвариантной величины — собственного времени. Таким образом получим значение четырехмерной скорости

$$u^i = \frac{dx^i}{d\tau}$$

Состояния материальных точек в пространстве различаются значениями u^i . [11]

Еще одна возможность различения материальных точек состоит во введении скалярного инвариантного множителя к скорости, разного для различных точек. Таким множителем служит масса покоя m_0 . Следовательно, однородность пространства-времени приводит к существованию четырехмерного импульса

$$p^i = \frac{m_0 dx^i}{d\tau}$$

Его с учетом значения четырехмерной скорости и выделением временной части (отвечающей индексу 0 временного измерения) можно записать так:

$$p^0 = \frac{m_0 c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Пространственная часть называется релятивистским импульсом; она переходит в классическое выражение для импульса при $v \ll c$ (формально $c = \infty$). Временная часть (p^0) выражает вторую сохраняющуюся для свободной частицы величину — энергию и в предельном случае должна давать формулу $\frac{mv^2}{2}$. Но последняя связана с работой — величиной, введенной в механике в извест- известной мере произвольно. Для согласования p^0 и кинетической энер- энергии достаточно ввести инвариантный множитель c . Окончательно:

$$E = p^0 c = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Полученные выражения для энергии и импульса обретают физический смысл в процессе измерений. В макроскопической области кинематическими средствами измеряется скорость, по взаимодействию — масса, так что формулы реализуются непосредственно. В микроскопической области такие прямые измерения не всегда возможны, т. е. формулы и применимы непосредственно не всегда. Однако сами величины — энергия и импульс — представляют собой универсальные характеристики материальной точки в свободном состоянии во всей пространственно-временной области, ибо они вытекают из общей геометрической модели.

Последняя формула в частном случае $v=0$ дает

$$E_0 = m_0 c^2$$

так называемую энергию покоя, или «внутреннюю» энергию материальной точки. Поскольку это величина инвариантная, она определяет некоторое внутреннее движение, составляющее индивидуальность частицы.

Изотропия пространства приводит к сохраняющейся при поворотах для свободной частицы величине — моменту импульса. Однако сейчас важна не

столько формула момента импульса, сколько сам факт существования этой величины. Ее измерение, как и измерение энергии и импульса, может быть выполнено динамическими способами на основе закона сохранения при взаимодействиях, т. е. во всей пространственно-временной области. Такие измерения показывают, что для микрообъектов — элементарных частиц — при $p=0$ момент не обязательно равен нулю. Отличный от нуля момент импульса в системе отсчета, где частица покоится, называется ее спином. Будем различать орбитальный момент \vec{M} и спиновый \vec{I} ; полный момент складывается из них.

Обратимся, наконец, еще к одной величине, обусловленной свойствами пространства-времени. Она имеет смысл только для микрообласти; это четность состояния. Произведем отражение пространства в зеркале, перпендикулярном одной из осей координат, и повернем затем пространство вокруг этой оси на 180° . Будет ли такое пространство (после отражения) прежним или оно в чем-то изменилось? Было высказано «естественное» предположение об эквивалентности «правого» и «левого» пространств. Такие замены для макроскопической области не приводят к какой-либо физической величине, однако для микрообласти, где основное кинематическое понятие есть функция состояния, дело меняется. Если «правое» пространство эквивалентно «левому», то состояние микрообъекта не изменится при переходе. Такому равенству удовлетворяют только либо четные функции, либо нечетные. Поэтому можно ввести четность состояния микрообъекта, которая принимает два значения: для четных функций она равна 1, для нечетных — 1.

Итак, геометрическая модель пространства-времени приводит к характеристикам материальной точки — фундаментальным физическим величинам.

Рамки «единой» картины мира

Рассматривая концепцию взаимодействий с ее геометрической моделью, мы пришли к единой связи фундаментальных физических теорий в их основаниях. Завершим картину физического мира кратким обзором проявлений фундаментальных взаимодействий в различных пространственных областях (на различных расстояниях между взаимодействующими объектами) и обсуждением ее рамок.

Иерархия расстояний влечет за собой иерархию структурных уровней деления материи, т. е. изменение предметных областей и действующих в них физических законов.

Сфера проявлений различных взаимодействий и вызываемых ими физических процессов, определяется пространственным диапазоном и связана с тем или иным структурным уровнем деления материи. В макром мире не проявляются короткодействующие сильные и слабые взаимодействия, наблюдаются лишь гравитационные и электромагнитные. Благодаря наличию электрических: зарядов двух знаков возможно существование электрически нейтральных систем: макроскопические тела, состоящие из огромного количества заряженных частиц, как правило, в целом электрически нейтральны или несут сравнительно небольшие заряды. Поэтому решающее значение приобретает гравитационное взаимодействие. Оно определяет движение небесных тел и наряду с другими — их строение. Существенна сила тяготения и для движения всех макроскопических тел на Земле.

Наряду с гравитационными, как в космическом пространстве так и в земных условиях, существуют макроскопические электромагнитные поля. Это прежде всего всевозможные электромагнитные излучения, а также статические электрические и магнитные поля. Электромагнитные излучения играют решающую роль в процессах передачи энергии в космических масштабах и в земных условиях; ими определяются оптические явления. Электромагнитные статические поля оказывают заметное силовое воздействие, как правило, на мелкие заряженные частицы (элементарные

частицы, ионы, пылинки и т. п.), так как крупные тела не несут больших зарядов (и испытывают гравитационное взаимодействие). В общем случае в электромагнитном поле на заряды действует зависящая от скорости их движения сила Лоренца; характерны магнитные силы, возникающие при взаимодействии токов.

При контактах макроскопических тел заряды одного тела оказываются вблизи от зарядов другого, что вызывает появление электромагнитных сил, известных как силы упругости, силы трения, сопротивления среды. Макроскопические свойства (механические, тепловые и оптические) и характеристики тел также связаны с электромагнитными взаимодействиями, но уже на атомно-молекулярном уровне.

В микромире, в области с 10^{-8} до 10^{-15} м, решающую роль играют электромагнитные взаимодействия, так как гравитационные оказываются по сравнению с ними исчезающе малыми (нейтрализация зарядов здесь не имеет места). Особенно важно, что электромагнитные взаимодействия приводят к связанным состояниям элементарных частиц и их систем. Именно они объединяют ядра и электроны в атомы, молекулы, кристаллы. Вместе с тем они же ионизируют атомы, приводят к распаду ядер и т. п. Процессы перестройки в системах заряженных частиц, вызванные электромагнитными взаимодействиями, ведут к поглощению и излучению квантов электромагнитного поля. Круг явлений, вызываемых электромагнитными взаимодействиями в указанном диапазоне, чрезвычайно широк — в конечном счете все химические реакции и биологические процессы обусловлены ими.

Электромагнитные взаимодействия характерны и для следующей пространственной области, т. е. меньшей 10^{-15} м, однако здесь они могут подавляться более интенсивными сильными взаимодействиями (для адронов). Устойчивые связанные состояния нуклонов в ядре — результат сильных взаимодействий между ними. (Это пример проявления притяжения при сильном взаимодействии, но имеет место и отталкивание,

препятствующее безграничному сближению частиц.) В общем случае сильные взаимодействия приводят к взаимным превращениям элементарных частиц, в процессе которых могут получаться неустойчивые связанные состояния — частицы-резонансы с очень коротким временем жизни, распадающиеся далее на другие частицы.

Слабые взаимодействия проявляются наряду с сильными, однако для лептонов характерны только слабые взаимодействия. Их основная арена — процессы распада элементарных частиц, например C -распад. Так как интенсивность этого вида взаимодействия мала по сравнению с сильным, то вероятность обусловленных им явлений мала, а время жизни распадающихся состояний сравнительно велико.

Можно выделить два проявления взаимодействий, характерные для всей изученной пространственной области: 1) кратковременное, приводящее к изменению состояния и называемое рассеянием (например, столкновение упругих тел) и 2) длительное, объединяющее отдельные материальные точки в систему, находящуюся в устойчивом стационарном состоянии. В конечном счете любой вид и форма движения материи есть изменение параметров ее состояния и вызывается взаимодействием; все проявления материи в виде окружающего нас вещества в стабильном состоянии, начиная с атомных ядер и атомов и кончая макроскопическими телами и планетными системами звезд, есть не что иное, как системы в стационарных состояниях, свойства которых определяются внутренним взаимодействием.

Сильные и слабые взаимодействия вместе с электромагнитными ответственны за строение и свойства атомных ядер и элементарных частиц. Они обеспечивают процессы их взаимных превращений на последнем достигнутом структурном уровне деления материи. Следует отметить, что этот уровень не только технически достигнутый сейчас энергетический порог, но возможно, и принципиальный физический «рубеж», поскольку именно здесь может окончиться безусловная применимость используемой

геометрической модели пространства—времени—материи. Концепция квазисвободных объектов, взаимодействующих между собой, но имеющих индивидуальные свойства (не зависящие от взаимодействия со средой), еще достаточна для нарисованной выше схемы изучения взаимных превращений частиц, вызванных электромагнитным взаимодействием, однако приводит к затруднениям для сильных и слабых взаимодействий.

Что же касается «внутреннего» строения элементарных частиц и взаимодействия, обеспечивающего это строение, то здесь концепция может оказаться неадекватной действительности по ряду причин. Прежде всего, как мы уже отмечали, теряет смысл понятие составной части в системе, связанной взаимодействием на малом расстоянии. Затем может оказаться неприменимой сама модель непрерывного пространства-времени при дальнейшем уменьшении пространственных рамок. Наконец, при уменьшении расстояний до 10~17 см можно ожидать существенных изменений в иерархии взаимодействий по величине: усиление «слабого» и, возможно, увеличение роли гравитационного, не принимаемого сейчас в расчет.

Таким образом, обсуждаемая картина мира имеет свои рамки, будучи ограничена расстояниями «сверху» и «снизу» не только технически, но и принципиально. Как и всякое знание, эта картина имеет не абсолютный, а относительный смысл, она — этап в процессе познания человеком неисчерпаемой природы.

Перечислим и другие принципиальные факты, свидетельствующие об относительности и незавершенности современной физической картины мира. Геометрическая модель материи не только ограничена указанными рамками, но и недостаточна для понимания всех свойств материи на уже достигнутом уровне. В самом деле, целый ряд величин и характеристик элементарных частиц, таких важных, как электрический заряд, барионный и лептонные заряды, изотопический спин, странность (гиперзаряд) и др., никак не связаны с моделью. Имеющие место законы сохранения (одни универсальные —

электрического, барионного и лептонных зарядов, другие — выполняющиеся не при всех взаимодействиях, например, сохранения странности) не находят теоретического объяснения в рамках геометрической модели.

Происхождение указанных характеристик и соответствующих законов относят к так называемым внутренним симметриям, связать которые с геометрической моделью пока не удалось. Кроме того, едва ли можно считать, что сейчас все характеристики элементарных частиц, принципиально важные для основания теории, уже известны (предполагается, например, введение новой величины — «очарования»).

Далеко не ясны пути синтеза в теоретическом под- подходе и к взаимодействиям в мега- и микромире. Имеются и другие затруднения, относящиеся к незавершенности картины физического знания, и все же нет никаких сомнений в том, что современная картина мира, выкристаллизовавшаяся в процессе развития физической теории как новое грандиозное содержательное обобщение, является крупным шагом вперед на пути познания природы. В настоящее время игнорировать содержащиеся в ней обобщения, модели и концепции при построении школьного курса физики уже нельзя.

1.3 Анализ содержания учебников физики по вопросам фундаментальных взаимодействий.

Существует несколько учебников физики для учащихся средней школы в которых рассматриваются фундаментальные взаимодействия, разные авторы по-разному раскрывают это понятие.

Проведем анализ на примере двух учебников:

1. Физика. 9кл. : учебник / А.В Перышкин, Е. М Гутник. – М.: Дрофа, 2014. – 319, [1] с. : ил. ISBN 978-5-358-09883-1
2. Физика: Учеб. для 9 кл. общеобразоват. учреждений/ С.В. Громов, Н.А. Родина – 4-е изд. - М.: Просвещение, 2003. – 160с.: ил. ISBN 5-09-02189-3.

I Анализ содержания учебника физики для 9 класса Громов С.В.

В учебнике С.В. Громова гравитационное взаимодействие рассматривается в главе 4 «Гравитационное явление». На эту тему выделено 9 параграфов.

ГЛАВА 4. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 39. Гравитационное взаимодействие и гравитационное поле	106
§ 40. Закон всемирного тяготения	108
§ 41. Гравитационная постоянная	111
§ 42. Сила тяжести	113
§ 43. Свободное падение	115
§ 44. О движении бросаемых тел	118
§ 45. Движение искусственных спутников	120
§ 46. Перегрузки и невесомость	123
§ 47. Сила тяжести на других планетах	126
§ 48. Гравитация и Вселенная	128
Кроссворд «Повторим пройденное-4»	131

В §39 «Гравитационное взаимодействие и гравитационное поле»

Громов изначально описывает нам историю открытия гравитационного взаимодействия, а после дает определение этого понятия.

Взаимодействие, свойственное всем телам Вселенной и проявляющееся в их взаимном притяжении друг к другу, называют **гравитационным**, а само явление всемирного тяготения — *гравитацией* (от лат. *gravitas* — тяжесть).

Далее, объясняя, как осуществляется гравитационное взаимодействие, он вводит понятие *гравитационное поле*.

Гравитационное взаимодействие осуществляется посредством особого вида материи, называемого **гравитационным полем**. Такое поле существует вокруг любого тела, будь то планета, камень, человек или лист бумаги. При этом тело, создающее гравитационное поле, действует им на любое другое тело так, что у того появляется ускорение, всегда направленное к источнику поля. Появление такого ускорения и означает, что между телами возникает притяжение.

Я считаю, что это понятие введено слишком рано. Более рационально было бы ввести его в §48 «Гравитация и Вселенная». Учащиеся уже будут знать такие понятия, как сила тяжести, гравитационная постоянная, так же познакомятся с законом всемирного тяготения. И на примере планет понятие гравитационное поле будет легче раскрыть.

В §40 учащиеся знакомятся с законом всемирного тяготения. Для анализа мы сравнили план обобщённого характера изучения законов с тем, как раскрыт закон всемирного тяготения в учебнике Громова.

План изучения законов

1. Связь между какими явлениями или величинами выражает данный закон?
2. Формулировка закона.
3. Когда и кто впервые сформулировал данный закон?
4. Математическое выражение закона.
5. Опыты, подтверждающие справедливость закона.
6. Учёт и использование закона на практике.
7. Границы применения закона.

В учебнике Громова в начале параграфа приведена историческая справка о том, как Ньютон открыл закон всемирного тяготения, кратко описаны основные этапы исследования.

В середине XVII в. многих ученых интересовал вопрос о том, как сила взаимного притяжения между телами зависит от расстояния между ними. С какой силой, например, Солнце притягивает к себе планеты? По поводу этого вопроса Р. Гук в 1674 г. писал: «Притягательные силы тем значительнее обнаруживают себя, чем ближе тело, на которое они действуют, находится от центра действия. В какой степени это увеличение зависит от расстояния, это я еще не определил опытом». Современникам Гука никак не удавалось найти выражение для силы тяготения и на его основе определить траектории планет. Правда, у Гука были на этот счет догадки, но доказать их он не мог.

В 1683 г. Гук специально встретился с учеными К. Реном и Э. Галлеем, интересовавшимися тем же вопросом, чтобы обсудить вместе с ними проблему тяготения. Но встреча этих трех ученых

ни к чему не привела. Отчаявшийся I аллея обратился с этой задачей к Ньютону. Каково же было его удивление и радость, когда он узнал, что Ньютону уже давно известно ее решение!

Выражение для силы тяготения Ньютон получил еще в 1666 г., когда ему самому было всего лишь 24 года. Но в то время, сверяя результаты своей теории с данными опыта, он обнаружил расхождения и поэтому опубликовать свои результаты не стал. В итоге открытый им закон оставался неизвестным людям в течение многих лет. Однако потом выяснилось, что данные, которыми он пользовался, были очень неточными. Когда же Ньютону стали известны результаты более точных измерений, он, как пишет О. Лодж, «достал свои старые рукописи и снова приступил к вычислениям... Новые данные изменяют результаты: в чрезвычайном возбуждении пересматривает он глазами свою работу, перо не успевает следить за мыслью, и наконец, вычисления приводят его к желаемым результатам. Беспредельно большое значение и глубина его открытия настолько ослепляют его своим сиянием, что затуманенные глаза не видят рукописи. В изнеможении он отбрасывает перо; тайна мироздания, наконец, открылась ему, единственному в мире...».

Сначала Ньютон установил, как зависит от расстояния ускорение свободного падения. Он заметил, что вблизи поверхности Земли, т. е. на расстоянии 6400 км от ее центра, это ускорение составляет $9,8 \text{ м/с}^2$, а на расстоянии, в 60 раз большем, у Луны, это ускорение оказывается в 3600 раз меньше, чем на Земле. Но $3600 = 60^2$. Значит, ускорение свободного падения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от центра Земли. Но ускорение по второму закону Ньютона пропорционально силе. Следовательно, причиной такого убывания ускорения является аналогичная зависимость от расстояния у силы тяготения.

Далее в параграфе представлено выражение для силы гравитационного взаимодействия Земли с притягиваемыми ею телами. И объясняется, почему закон считается всемирным.

Окончательную формулу силы тяготения можно получить, если учесть, что эта сила должна быть пропорциональна гравитационным зарядам взаимодействующих тел, т. е. их массам m_1 и m_2 . Таким образом,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}. \quad (40.1)$$

Так Ньютон нашел выражение для силы гравитационного взаимодействия Земли с притягиваемыми ею телами. Но интуиция подсказывала ему, что по полученной формуле можно рассчитывать и силу тяготения, действующую между любыми другими телами Вселенной, если только их размеры малы по сравнению с расстоянием r между ними. Поэтому он стал рассматривать полученное выражение как закон *всемирного* тяготения, справедливый и для небесных тел, и для тел, находящихся на Земле. Дальнейшее развитие науки показало, что Ньютон был прав и его закон действительно может быть применен к самым разным телам, начиная от атомов и молекул и кончая гигантскими звездными скоплениями.

Следом в учебнике Громова дается формулировка закона всемирного тяготения и его математическая формула.

Итак, закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном, гласит:

Сила гравитационного притяжения любых двух частиц прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Математически этот закон выражается формулой (40.1). Коэффициент пропорциональности G в этой формуле называется *гравитационной постоянной*.

После этого указаны границы применения закона и его использование на практике.

Закон всемирного тяготения сформулирован здесь для *частиц*, т. е. для таких тел, размеры которых значительно меньше расстояния r между ними. Однако одна замечательная особенность этого закона позволяет использовать его и в некоторых других случаях. Такой особенностью является обратно пропорциональная зависимость силы тяготения именно от квадрата расстояния между частицами, а не от третьей, скажем, или четвертой степени расстояния. Расчеты показывают, что благодаря этому формулу (40.1) можно применять еще и для расчета силы притяжения *шарообразных тел* со сферически симметричным распределением вещества, находящихся на любом расстоянии друг от друга; только под r в этом случае следует понимать не расстояние между ними, а расстояние между их центрами (рис. 100). Справедливой оказывается формула (40.1) и в промежуточном случае, когда сферическое тело произвольного размера взаимодействует с некоторой материальной точкой. Это и дает возможность применять формулу закона всемирного тяготения для расчета силы, с которой земной шар притягивает к себе окружающие тела.

В конце параграфа описывается легенда открытия данного закона, а так же поясняется значение его открытия.

Открытие закона всемирного тяготения позволило Ньютону создать теорию движения небесных тел, основанную на строгих математических доказательствах. Ничего подобного в науке до этого не было.

Однако сильное впечатление, произведенное этой теорией на современников Ньютона, не помешало появлению у них некоторого чувства неудовлетворенности. Всех тогда интересовал вопрос «почему?»: почему все тела притягиваются друг к другу? Ньютон ответа на этот вопрос не дал. «Причину же свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не из-

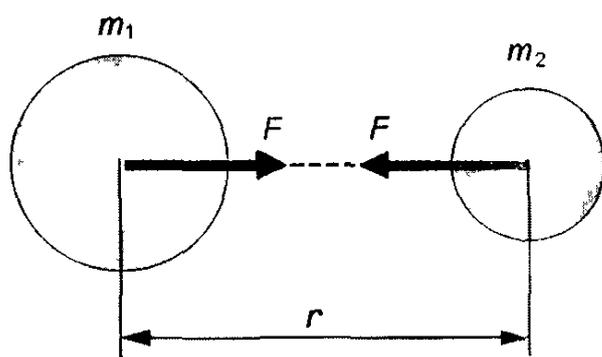


Рис. 100

мышляю, — писал он в своих «Математических началах». — Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря».

Говоря о море, Ньютон подразумевал явление приливов, которые обусловлены притяжением воды Луной и Солнцем. За две тысячи лет до Ньютона над причинами этого явления размышлял Аристотель, которому, однако, решить эту проблему не удалось. Для Аристотеля это явилось трагедией. «Наблюдая длительное время это явление со скалы Негропонта, он, охваченный отчаянием, бросился в море и нашел там добровольную смерть» (Г. Галилей).

Представим результаты сравнение параграфа с планом в виде таблицы.

№	План изучения законов	Параграф в учебнике Громова
1	Связь между какими явлениями или величинами выражает данный закон?	Историческая справка о том, как Ньютон открыл закон всемирного тяготения, кратко описаны основные этапы исследования.
2	Формулировка закона	Представлено выражение для силы гравитационного взаимодействия Земли с притягиваемыми ею телами. И объясняется, почему закон считается всемирным.
3	Когда и кто впервые сформулировал данный закон?	Дается формулировка закона всемирного тяготения.
4	Математическое выражение закона.	Математическое выражение закона.
5	Опыты, подтверждающие справедливость закона.	Границы применения закона.
6	Учёт и использование закона на практике.	Учёт и использование закона на практике.
7	Границы применения закона.	Легенда об открытии данного закона, и значение его открытия.

Как мы можем заметить, Громов не четко следует плану обобщенного характера, нарушает последовательность, некоторые пункты вовсе пропущены. Но все же автор последовательно и логически продумано раскрывает учащимся закон всемирного тяготения.

II анализ содержания учебника физики Перышкин 9 класс.

В учебнике Перышкина гравитационному взаимодействию отдельной главы не выделено. Но он затрагивается в первой главе « Законы взаимодействия и движения тел».

ГЛАВА 1		ЗАКОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ	
§ 1	Материальная точка. Система отсчёта		4
§ 2	Перемещение		10
§ 3	Определение координаты движущегося тела		12
§ 4	Перемещение при прямолинейном равномерном движении		16
§ 5	Прямолинейное равноускоренное движение. Ускорение		20
§ 6	Скорость прямолинейного равноускоренного движения. График скорости		25
§ 7	Перемещение тела при прямолинейном равноускоренном движении		28
§ 8	Перемещение тела при прямолинейном равноускоренном движении без начальной скорости		31
§ 9	Относительность движения		34
§ 10	Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона		40
§ 11	Второй закон Ньютона		44
§ 12	Третий закон Ньютона		50
§ 13	Свободное падение тел		54
§ 14	Движение тела, брошенного вертикально вверх. Невесомость .		59
§ 15	Закон всемирного тяготения		62
§ 16	Ускорение свободного падения на Земле и других небесных телах		65
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО ...		
	Открытие планет Нептун и Плутон		68
§ 17	Прямолинейное и криволинейное движение		69
§ 18	Движение тела по окружности с постоянной по модулю скоростью		72

Как видно по содержанию гравитационное взаимодействие фигурирует в 4 параграфах:

§13 Свободное падение тел

§14 Движение тела, брошенного вертикально вверх. Невесомость

§15 Закон всемирного тяготения

§16 Ускорение свободного падения на Земле и других небесных телах.

Понятие гравитационное взаимодействие не в одно из этих параграфов не встречается.

Это еще раз доказывает, что в современном курсе физики понятию «фундаментальное взаимодействие» не выделено должного внимания.

Выводы по первой главе:

Согласно современным представлениям, различают взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое. Все встречающиеся в природе взаимодействия являются либо проявлением одного из указанных вида взаимодействия либо их комбинацией, на которых базируется взаимосвязь всех материальных объектов микро-, макро- и мегамира.

В настоящее время нельзя игнорировать содержащиеся в физической картине мира обобщения, модели, концепции при построении школьного курса физики.

В результате теоретического анализа проблемы в методической литературе по теме исследования было выявлено, что в настоящее время имеется достаточное количество разработанных методических материалов для работы учителя.

Глава 2. Методика формирования понятия «фундаментальное взаимодействие».

2.1. Основные идеи курса физики в связи с концепцией взаимодействия.

Рассмотрим основные понятия и идеи курса физики старших классов средней школы, призванные объединять в целях формирования научного физического мировоззрения учащихся весь учебный материал. Они не ограничиваются строго существующими программами и учебниками, поскольку школьная физика развивается, и следует говорить о прогнозировании курса; кроме того, речь идет об идеях, а их можно заключить в любые рамки и формы.

В существующем курсе физики средней школы без труда прослеживается основная концепция — объяснение разнообразных (не только механических, но почти всех) явлений действием силы. Это объясняется ведущей ролью механики в современном курсе: она является не только его началом, но и общей теоретической основой. В разных разделах сила выступает как причина множества явлений: электроны притягиваются к ядру электрической силой, молекулы притягиваются и отталкиваются молекулярными силами, в химическом источнике тока заряды разделяются химическими силами, в поверхностном слое жидкости действует сила поверхностного натяжения, нуклоны притягиваются ядерными силами и т. д. В большинстве перечисленных случаев ускорение измерить нельзя, т. е. нельзя говорить о силе в точном динамическом смысле. При таком словоупотреблении налицо субстанциональный характер, вкладываемый в это понятие: сила выступает в роли самостоятельной сущности, ответственной за различные явления. Да и в самой механике понятие силы достаточно метафизично, ибо рассматриваются не конкретные, а отвлеченные силы, вызывающие ускорения: взаимодействие осуществляется без материального посредника, т. е. действует сама сила.

Разумеется, понятие силы имеет право на существование; более того, весьма трудно обойтись без употребления этого термина в несколько неточном смысле: о силе говорят, если при взаимодействии образуется устойчивая система («сила притяжения») или, наоборот, система разрушается («сила отталкивания»). Тем не менее очевидно вредное влияние избыточного употребления термина «сила» в школьном курсе физики, приводящее к механическим представлениям о немеханических явлениях. Вообще роль механики в мировоззрении и особенно применение механической концепции к разным физическим процессам, следует считать завышенными. Это способствует формированию искаженной физической картины мира.

Поэтому вместо концепции действия силы в основу всех физических явлений нужно положить концепцию взаимодействия.

В основу физического миропонимания должны лечь также некоторые общефизические понятия, величины и законы. Это понятия: материальная точка, состояние, взаимодействие; величины: энергия, импульс, момент импульса; законы: сохранения названных величин в свободном состоянии точки и сохранения их для замкнутой или изолированной системы материальных точек. В качестве главного физического явления вместо механического движения как перемещения точки по траектории выступает изменение состояния в результате взаимодействия.

Итак, общефизическая концепция взаимодействия призвана заменить механическую — действие силы.

Идея взаимодействия пронизывает все разделы курса и везде является фундаментальной, составляющей физическую сущность процессов. Выяснение взаимодействия на уровне элементарных частиц — «микромеханизма» явлений — есть универсальное объяснение природы этих явлений. В частности, на основе микромеханизма можно дать физическое (а не механистическое) толкование силы, основного уравнения механики, закона тяготения, закона Кулона, видов энергии и т. д.

Атомизм, релятивистские и квантовые представления вместе с концепцией взаимодействия должны составить «фундамент» школьной физики. Если атомизм вещества входит в современный курс с его начала, то квантовые представления лишь добавляются к нему на завершающей стадии его изучения и существенного значения для формирования физического мышления учащихся не имеют. Между тем рассмотрение микромеханизма явлений с самого начала предполагает использование квантовых представлений и прежде всего — представления о дискретном значении величин, которое тесно связано с общими идеями атомизма, утверждающими зернистость материи. Сам факт существования тождественных между собой микросистем и микрочастиц эквивалентен признанию дискретности их характеристик. Дискретность энергетических состояний элементарных частиц и их систем в свою очередь непосредственно связана с наличием квантов полей, передающих взаимодействие.

Теория в школьном курсе физики почти везде имеет и должна иметь полукачественный характер, так как использование математического аппарата, адекватного сообщаемым учащимся результатам, исключено. Еще в большей степени утверждение о качественном характере, о наглядности и обозримости относится к физической картине мира. Для последней не существует объединяющей математической модели; вместо нее выдвигается единая качественная модель микромеханизма физических явлений, сводящая любое из них к фундаментальным взаимодействиям элементарных частиц, происходящим в рамках универсальных законов сохранения.

Структура и конкретное содержание основной теоретической части курса физики должно быть непосредственно связано с иерархией взаимодействий в различных пространственных диапазонах.[20] Проявление фундаментальных взаимодействий в порядке, обусловленном уменьшением расстояний между взаимодействующими материальными точками, охватывает все многообразие физических явлений. В свою очередь, способы описания движения как изменения состояния в результате взаимодействия

зависят от масштабов последнего и охватываются основными разделами физики. Понятие о взаимодействии, универсальные величины и универсальные законы объединяют между собой разделы физики в единую науку.

Поэтому в школьном курсе в явной форме должны изучаться конкретные физические взаимодействия в определенных пространственно-временных рамках.

Фундаментальные взаимодействия и их проявления в природе

В настоящее время считают независимыми, не сводящимися друг к другу четыре взаимодействия, которые и называют фундаментальными. Они различаются радиусом действия и относительной интенсивностью. Кроме того, взаимодействия различаются по «степени универсальности». Так, гравитационное взаимодействие проявляется, по-видимому, для всех элементарных частиц; электромагнитные взаимодействия требуют наличия электрического заряда (или магнитного момента); сильные взаимодействия имеют место для группы частиц, называемых адронами, и не проявляются у лептонов; слабым взаимодействиям подвержены и адроны, и лептоны.

Все многообразие явлений материального мира, многообразие движений и свойств, относящихся к строению материи в изученной пространственной области, обусловлено фундаментальными взаимодействиями. Сфера проявлений различных взаимодействий определяется пространственным диапазоном и связана с тем или иным структурным уровнем деления материи. На макроскопическом уровне (в макромире) не проявляются короткодействующие сильные и слабые взаимодействия, т. е. имеют место гравитационные и электромагнитные. Благодаря наличию электрических зарядов двух знаков возможно существование электрически нейтральных систем: макроскопические тела, состоящие из огромного количества заряженных частиц, как правило, в целом электрически нейтральны или несут сравнительно небольшие заряды.

В таком случае решающее значение приобретает гравитационное взаимодействие. Оно и определяет движение небесных тел и отчасти их строение. Существенна сила тяготения и для движения всех тел на Земле.

Наряду с гравитационными в макроскопической области наблюдаются электромагнитные взаимодействия, существуют макроскопические электромагнитные поля как в космическом пространстве, так и в земных условиях. Это прежде всего всевозможные электромагнитные излучения, а также статические электрические и магнитные поля. Электромагнитные излучения играют решающую роль в процессах передачи энергии в космических масштабах и на Земле. При контактах макроскопических тел заряды одного тела оказываются вблизи от зарядов другого, что вызывает существенные электромагнитные силы, известные как силы упругости, трения, сопротивления среды.

Таким образом, движения окружающих нас на Земле макроскопических тел определяются гравитационными и электромагнитными взаимодействиями, последними обусловлены и важнейшие излучения — видимый свет, тепловая радиация и т. д. В микромире (в области от 10^{-8} до 10^{-15} м) решающую роль играют электромагнитные взаимодействия, так как гравитационные оказываются по сравнению с ними исчезающе малыми (нейтрализация зарядов здесь не имеет больше места). Особенно важно, что электромагнитное взаимодействие приводит в микромире к связанным состояниям элементарных частиц и их систем. Именно оно объединяет ядро и электроны в атом, молекулу, кристалл. В свою очередь, электромагнитные силы ионизируют атом, приводят к распаду ядра и т. п. Процессы перестройки в системах заряженных частиц, вызванные электромагнитным взаимодействием, ведут к поглощению и излучению квантов электромагнитного поля — к излучению и поглощению света. Круг явлений, вызванных электромагнитными взаимодействиями в указанном диапазоне, чрезвычайно широк — в

конечном счете все химические реакции и биологические процессы обусловлены ими.

Электромагнитные взаимодействия остаются и в следующей области, т. е. после 10^{-15} м, однако здесь более интенсивно проявляются сильные взаимодействия (для адронов). Устойчивые связанные состояния нуклонов в ядре — результат сильных взаимодействий между ними. В этом смысле говорят о притяжении; но имеет место и отталкивание, препятствующее безграничному сближению частиц. В общем случае сильные взаимодействия приводят к взаимным превращениям элементарных частиц.

Наряду с сильными, а для лептонов независимо от них, проявляются слабые взаимодействия. Их основная арена — процессы распада элементарных частиц, например β -распад. Так как их интенсивность мала по сравнению с интенсивностью сильных, то вероятность слабых процессов соответственно много меньше, нежели сильных, а время жизни распадающихся состояний сравнительно велико. Сильные и слабые взаимодействия вместе с электромагнитными ответственны за строение и свойства атомных ядер и самих элементарных частиц.

Взаимодействия и физические теории

Особенности фундаментальных взаимодействий в различных предметных и пространственных областях отражены в различных фундаментальных физических теориях, описывающих движение и строение материи.

Механика. В макроскопической области для макроскопических тел возможны кинематические измерения координат материальной точки в заданные моменты времени:

$$x = x(t)$$

Подчеркнем, что такие измерения существенно не влияют в этой области на значения импульса. Проводя измерения достаточно часто, получаем траекторию движения, а вместе с ней и значения мгновенной

скорости в каждой точке траектории (для простоты записи в формулах сохранено одно измерение):

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Импульс как сохраняющаяся величина определяется формулой:

$$p = m_0 v$$

Здесь речь идет о гравитационных и электромагнитных взаимодействиях; пусть рассматривается область скоростей $v \ll c$, соответственно $p < m_0 c$ дает для энергии:

$$E = \frac{p^2}{2m_0} + m_0 c^2$$

Поскольку масса покоя не изменяется (область классической механики), в расчет принимается лишь кинетическая энергия:

$$E = \frac{p^2}{2m_0} = \frac{m_0 v^2}{2}$$

В процессе взаимодействия изменяется импульс и энергия материальной точки. Если скорость этого изменения определена независимо от кинематических измерений, то становятся известными значения их в любой момент времени (при заданных начальных), а вместе с тем и кинематические характеристики движения.[17] Динамическое описание движения и состоит в отыскании скорости изменения импульса или указания силы, действующей на тело:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$$

Но если известна $F = F(x, t)$ то возможен расчет v и x для каждого момента времени. Это классическая схема описания механического движения; она завершается уравнением, позволяющим определять кинетическую энергию по положению материальной точки в пространстве. Изменение энергии последней происходит за счет поля, в котором точка движется:

$$\frac{p^2}{2m_0} + U(x) = E$$

где $U(x)$ — потенциальная энергия. В той же макроскопической области для электромагнитных взаимодействий (заряженные частицы в макроскопическом электромагнитном поле) характерен случай движения с большими скоростями (v сравнимо с c , p сравнимо с m_0c , который относится к релятивистским макроскопическим движениям. Для него импульс как сохраняющаяся величина определяется другой формулой:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = mv$$

соответственно энергия имеет вид:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = mc^2$$

Где m — зависящая от скорости масса материальной точки.

Однако в релятивистской области в микромире взаимодействие приводит к изменению массы покоя: в таком случае уравнение применять нельзя, и особое значение приобретают для описания взаимодействия универсальные законы сохранения. Заметим в заключение, что в этой схеме описания движения не принимается в расчет квантовый характер взаимодействия.

Учение о поле. В макромире переносчиком взаимодействия является поле — электромагнитное или гравитационное. В настоящее время наиболее изучено теоретически и экспериментально электромагнитное поле. Твердо установлена квантовая микроструктура поля.

Рассмотрим большое число фотонов с одинаковыми импульсами. Общее их действие на электрически заряженные тела выражается некоторой силой, силовое действие электромагнитного поля на макроуровне характеризуется векторами \vec{E} и \vec{B} . Если фотоны находятся в достаточно большой области пространства, лишенной зарядов, то они образуют плоскую волну определенной частоты и направления для векторов \vec{E} и \vec{B} (так меняется

сила, действующая в поле на единичный пробный заряд). Но с микро-микроскопической точки зрения речь идет об испускании и поглощении квантов поля зарядом. Связь между макроскопической и микроскопической картинами устанавливается в квантовых постулатах. По формуле Планка

$$\varepsilon = \omega \hbar$$

Отсюда на основании следует

$$p = \frac{2\pi\hbar}{\lambda}$$

Таким образом, совокупностям квантов, различных по энергии и импульсу, соответствуют плоские монохроматические волны напряженности, складывающиеся в некоторое волновое поле.

Особенность материи в виде макроскопического поля состоит в отсутствии локализации ее в ограниченной области пространства. Это свойство вытекает из фундаментальных особенностей микрочастиц. Рассмотрим, что значит для микрочастицы находиться в том или ином небольшом объеме пространства. С точки зрения модельных представлений микрочастица — объект точечный, т. е. может быть в точке пространства, однако при этом не учитываются взаимодействия между частицами. Всякая локализация, ограничение места и свободы микрочастицы осуществляется другими частицами и приводит к их взаимодействию, а последнее благодаря передаче энергии и импульса ведет к изменению состояния локализуемой частицы.

Что касается фотона, то взаимодействие для него сводится только к поглощению, значит, определить место, где он находится, не удастся — фотон исчезает. В макроскопической картине этому факту отвечает плоская волна, занимающая все пространство. Практически строго монохроматических волн не бывает; всегда имеется набор таких близких по частоте волн. Набор дает ограниченное в пространстве образование - волновой пакет с размерами порядка длины волны, движущейся со

скоростью c . В этой области и сосредоточена энергия поля и соответственно фотоны (движение волновых пакетов изучается в оптике).

Связь электрически заряженных элементарных частиц с электромагнитным полем двояка: частицы не только испытывают на себе действие поля, поглощая его кванты, но при определенных условиях испускают их, так что источником поля служат электрические заряды. Кроме того, электрические заряды всегда связаны со статическими полями. Микроструктуру последних составляют виртуальные кванты. Допускается, что взаимодействие между зарядами на расстоянии r осуществляется при обмене виртуальным квантом.[19]

Предполагается, что заряженная частица, например электрон, постоянно испускает и поглощает кванты электромагнитного поля, поэтому вокруг нее существует облако виртуальных фотонов, которое и есть статическое поле. Любое статическое взаимодействие между заряженными частицами также осуществляется за счет виртуальных фотонов. Радиус такого взаимодействия бесконечен, так как неограниченно растет при уменьшении энергии, а для фотона возможна любая, как угодно малая энергия.

Связь макроскопических полей в общем случае с зарядами, их обусловившими, рассматривается в электродинамике, главная задача которой состоит в расчете напряженностей поля по расположению и движению электрических зарядов. Микромеханизмы взаимодействия описываются квантовой электродинамикой.

Гравитационное поле изучено (экспериментально и теоретически) меньше электромагнитного. Во-первых, потому, что в пределах солнечной системы на практике имеют дело только со статическими гравитационными полями, а гравитационные волны до сих пор не обнаружены; во-вторых, гравитационное взаимодействие на микроуровне строения материи исчезающе мало по сравнению с другими видами взаимодействий. Хотя действие поля Земли на отдельные элементарные

частицы фиксируется надежно, обнаружить какие-либо процессы, идущие за счет гравитационного взаимодействия между ними, до сих пор невозможно; последнее означает, что не обнаружена и элементарная частица-носитель гравитационного взаимодействия — гипотетический гравитон.

Квантовая физика. В микрообласти пространства основные материальные объекты — ядра вещества и электроны, объединенные электромагнитным взаимодействием в атомы, молекулы, кристаллы различных веществ. Механическая схема описания движения и взаимодействия перестает служить для них по следующей причине. Мы уже говорили, что нахождение микрочастицы в ограниченной части пространства связано с ее взаимодействиями и изменением энергии и импульса. Чем меньше область, тем больше кванты этого взаимодействия. Так что в рассматриваемой области их величина оказывается сравнимой со значениями энергии и импульса самих связанных частиц. Поскольку обмен отдельными квантами при взаимодействии носит случайный характер, то говорить об определенном значении импульса частицы в связанном состоянии невозможно. Если частица связана (локализуется) в области Δx , то неопределенность энергии, обусловленная испусканием и поглощением виртуальных квантов, у нее

$$\Delta E \geq \frac{\hbar c}{\Delta x}$$

Переходя к импульсу

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar$$

Полученное соотношение называется соотношением неопределенностей.[18]

Итак, если электрон связан в области $\sim 10^{-10}$ м (в атоме), то ни о его траектории, ни о его скорости говорить не приходится. Вместо точного значения координаты в любой момент времени можно практически измерить и теоретически рассчитать лишь вероятность распределения электрона по пространству. Область наиболее вероятного местоположения электрона

соответствует форме и объему атома. Не зная координаты и скорости, нельзя одновременно определить потенциальную и кинетическую энергии электрона, однако полная энергия имеет определенное значение, сохраняется, измеряется и рассчитывается.

Поскольку атомы излучают и поглощают кванты электромагнитного поля, а последние имеют конкретные значения энергии, энергетические состояния атомов образуют дискретные спектры. Дискретные значения энергии связанных состояний, как и значения других величин, характеризующих состояние, согласуются с общими принципами атомистического строения материи.

2.2 Организация и проведение педагогического эксперимента

Содержание педагогического эксперимента предусматривало выявление уровня сформированности у учащихся понятия фундаментальное взаимодействие.

В соответствии с поставленной задачей педагогическое исследование осуществлялось в период прохождения интернатуры в муниципальном бюджетном образовательном учреждении «Средняя общеобразовательная школа № 27 с углубленным изучением отдельных предметов».

Было проведено анкетирование с целью выявления уровня сформированности у учащихся понятия фундаментальное взаимодействие .

Для решения данной задачи оказалось необходимым:

- а) разработать анкету для учащихся основной и старшей школ;
- б) провести анализ результатов анкетирования.

Анкетирование проводилось в 11-х классах. Для того, чтобы результаты были более полными, я задействовал не только свой класс, но и параллельный

Вопросы анкеты были следующими:

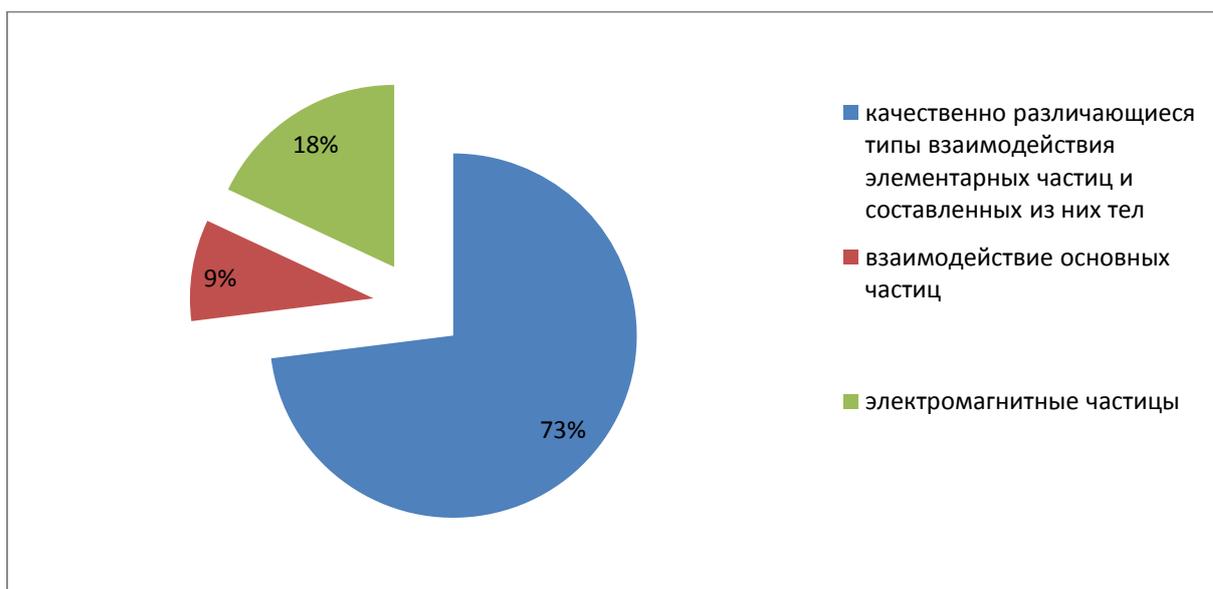
1. Какие взаимодействия в физике называются фундаментальными?
2. Перечислите виды фундаментальных взаимодействий

3. В каких разделах физики встречаются данные взаимодействия?
4. Приведите примеры различных взаимодействий между физическими объектами
5. Известно, что материя делится на следующие структурные уровни: микро, макро и мегамир. Какие фундаментальные взаимодействия преимущественно наблюдаются на каждом из этих уровней материи.
6. Вам лучше самостоятельно новый материал по физике или слушать учителя? Дайте краткое объяснение почему.

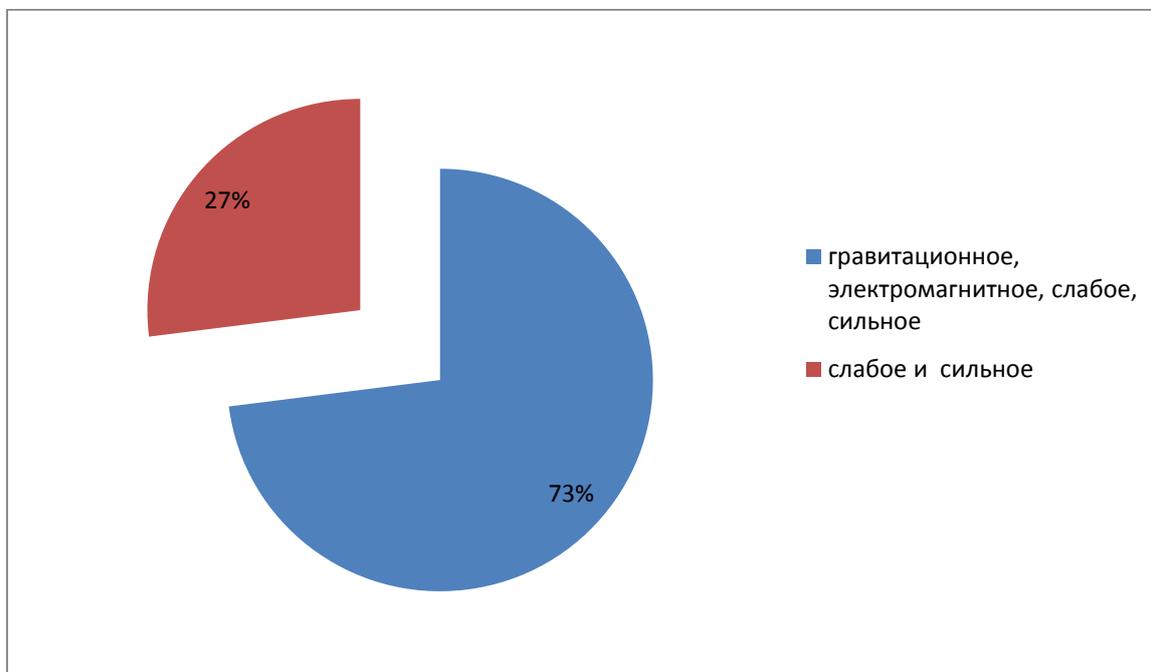
В анкетировании принимали участие 21 ученик (11 из 11«Б» и 10 из 11«А»).

Так же хотелось бы отметить, что в 11«Б» учащиеся сами готовят материал к уроку, в виде презентации либо реферата. Роль учителя на таких уроках задавать контрольные вопросы в конце выступления учащихся.

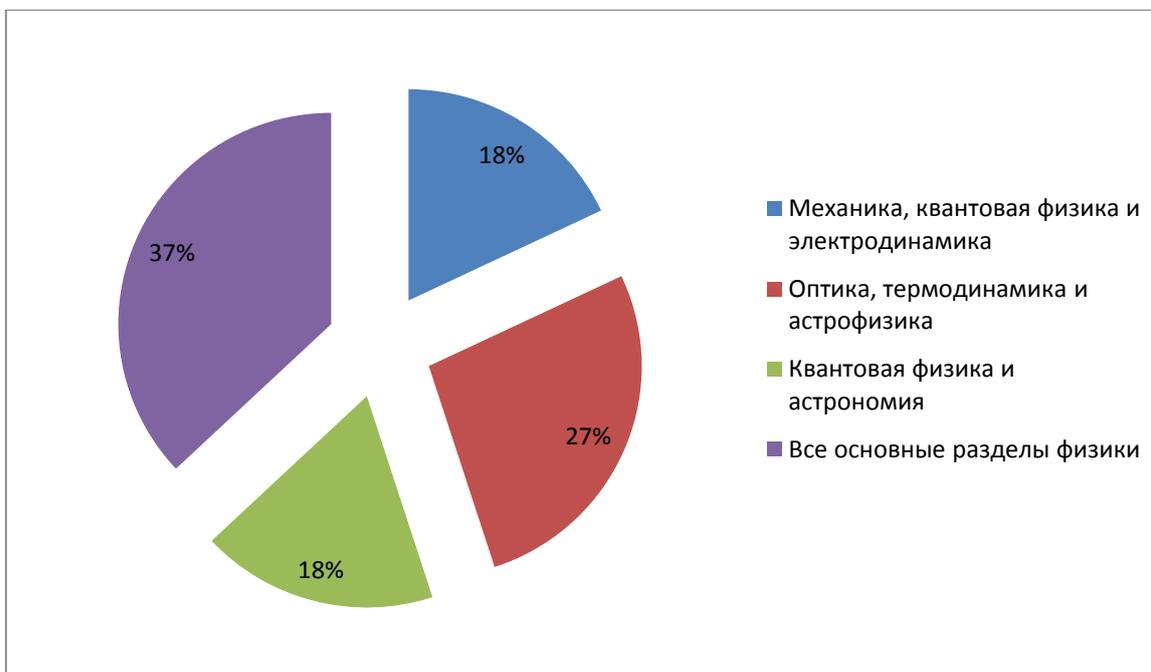
Сначала мы проанализировали ответы учащихся 11 «Б» класса. На первый вопрос никто не дал правильного ответа. 73%(8 из 11) опрошенных учеников считают, что фундаментальные взаимодействия - это качественно различающиеся типы взаимодействия элементарных частиц и составленных из них тел. 9% , что это «взаимодействие основных частиц», и 18% «электромагнитные частицы».



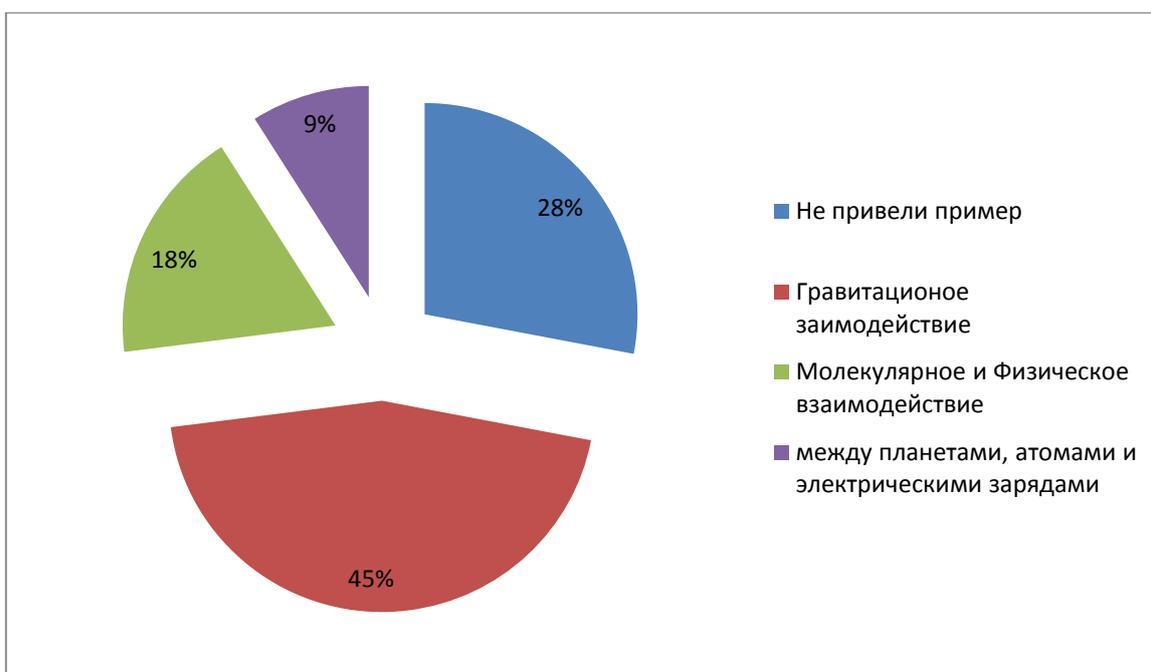
На второй вопрос, «перечислите виды фундаментальных взаимодействий», 73% человек дали правильный ответ, перечислив все 4 вида взаимодействия - гравитационное, электромагнитное, слабое, сильное. Оставшиеся 27% назвали только слабое и сильное взаимодействие.



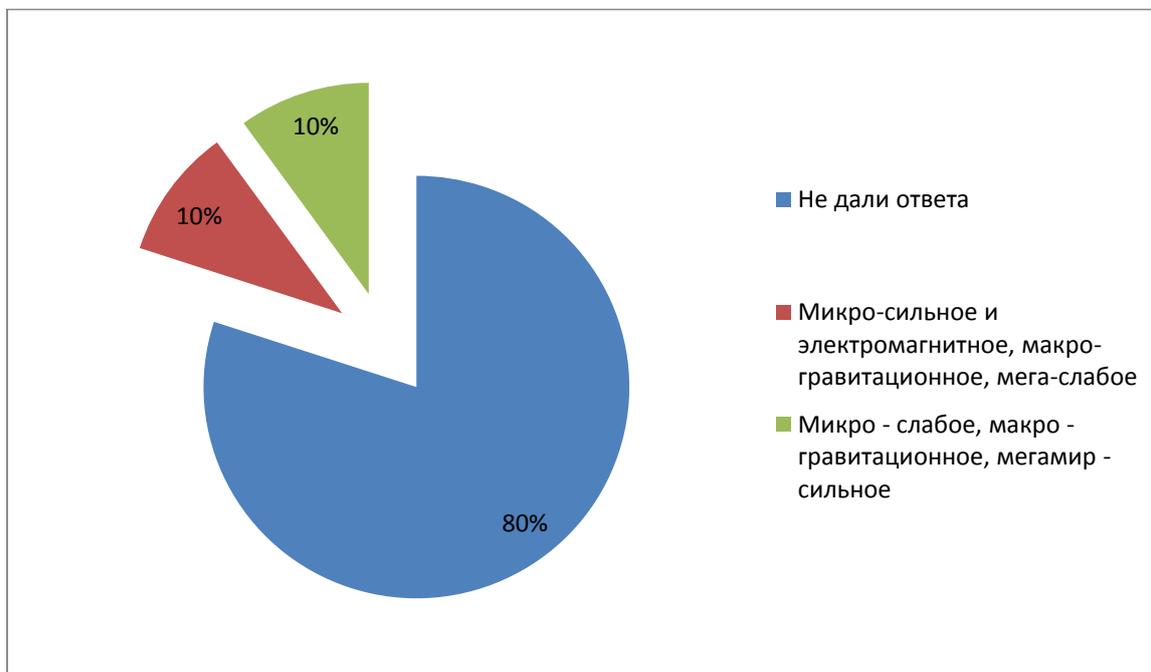
Третий вопрос «в каких разделах физики встречаются данные взаимодействия?» и примерно 18% учащихся назвали механику, квантовую физику и электродинамику. Другие 27% считают, что это оптика, термодинамика и астрофизика. Еще 18% назвали только квантовую физику и астрономию. Оставшиеся 37% перечислили все основные разделы физики.



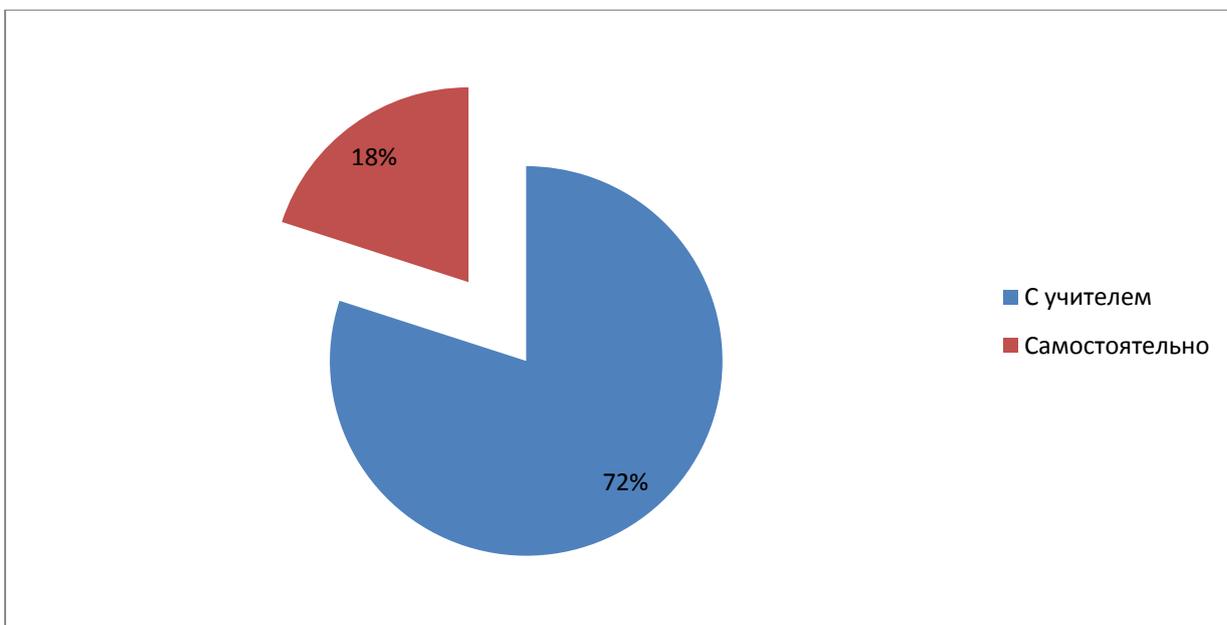
Четвертый вопрос - приведите примеры различных взаимодействий между физическими объектами. 28% учащихся не смогли привести пример. 45% опрошенных привели примеры гравитационного взаимодействия, «земля и солнце, земля и машина, земля и яблоко, земля и человек, земля и луна». 18% учащихся в качестве примера фундаментального взаимодействия написали «молекулярное и физическое». И 9% ответов « между планетами, между атомами, между электрическими зарядами».



На пятый вопрос 80% учащихся не смогли дать ответ. 20% других опрошенных дали совершенно разные ответы: 1) Микро - сильно взаимодействие и электромагнитное, макро – гравитационное, мега – слабое; 2) микро – слабое, макро – гравитационное, мегамир – сильное взаимодействие.

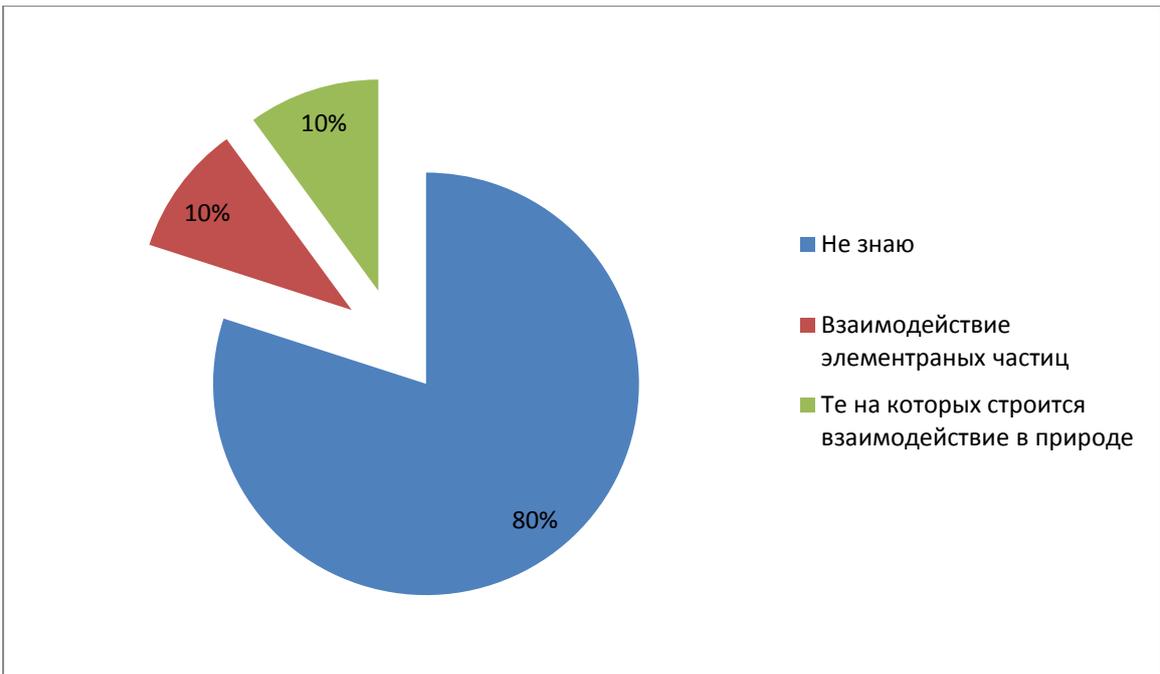


На шестой вопрос «Вам лучше самостоятельно изучать новый материал по физике или слушать учителя?» 72% опрошенных считают, что лучше с учителем и только 18% хотели бы изучать самостоятельно, но с возможностью обратиться к учителю.

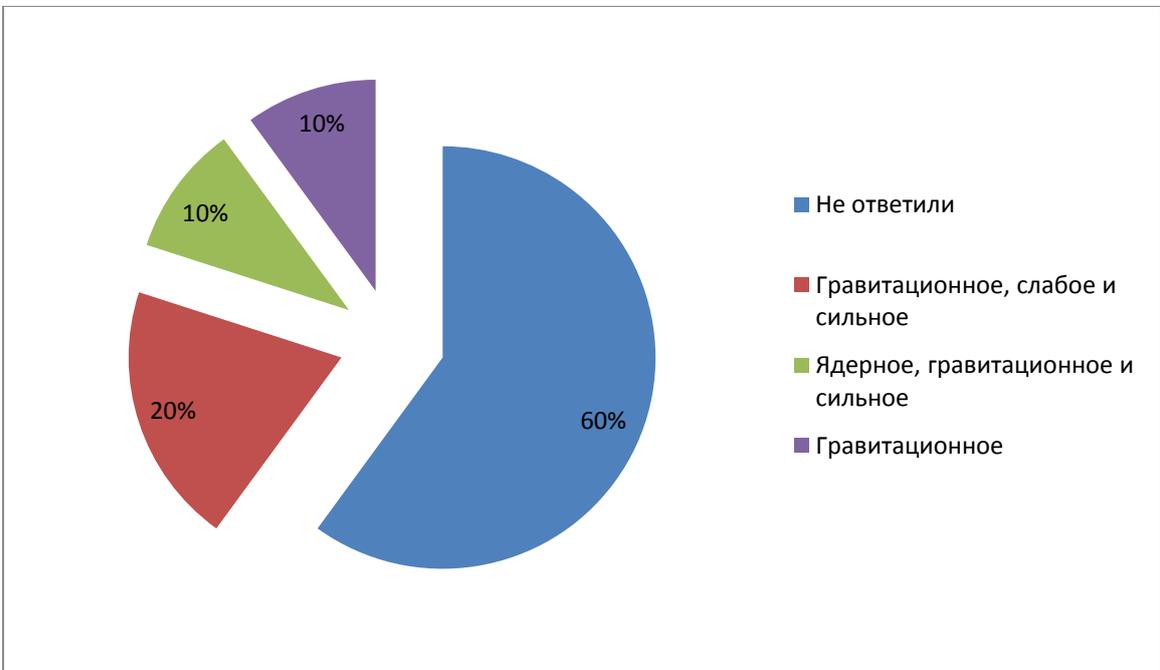


Из результатов ответов на шестой вопрос можно сделать вывод, что большинство опрошенных считают, что новый материал по физике им лучше воспринимать, слушая учителя, но причины этого выбора они указывают разные: одни указывают, что когда учитель объясняет, то материал более понятен; есть и такой ответ: «хоть мы иногда не слушаем учителя, материал все равно будет откладываться в голове».

В 11 «А» ответов на первый вопрос было меньше. 80% написали, что не знаю что такое фундаментальное взаимодействие. 10% опрошенных ответило, что это взаимодействие элементарных частиц, и еще 10% написали «это те на которых строятся основные взаимодействия в природе».

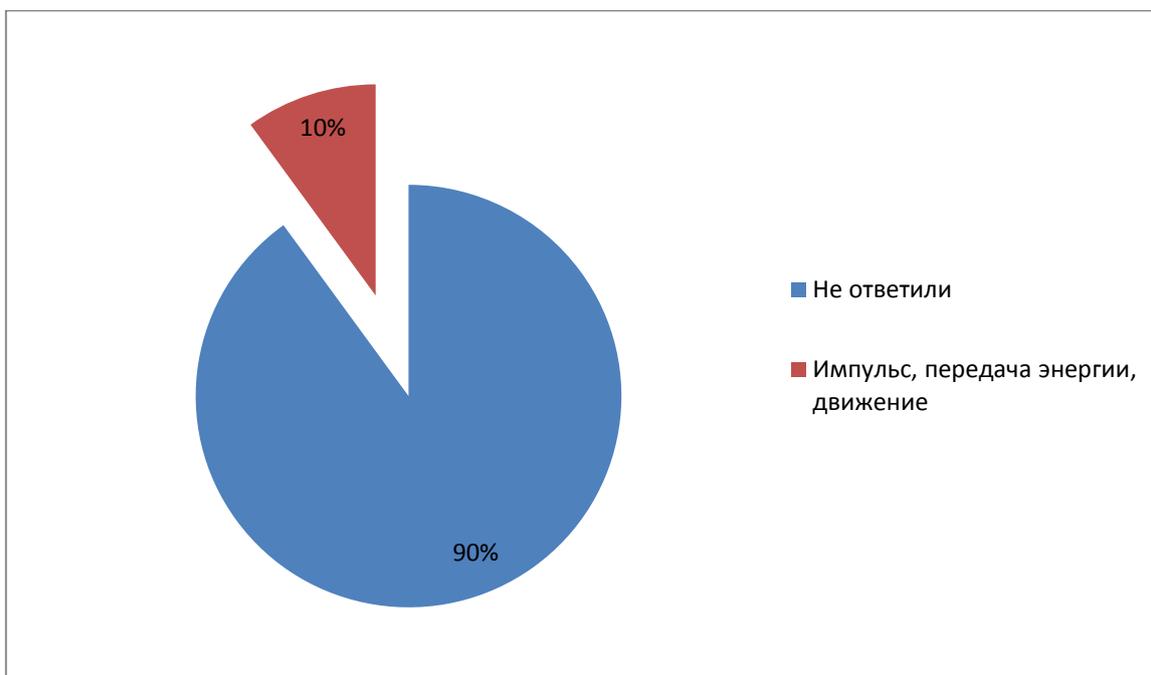


Второй вопрос «перечислите виды фундаментальных взаимодействий» не дали ответа 60% . 20% указали только гравитационное слабое и сильное. 10% назвали только гравитационное и еще 10% указали в ответе «ядерное, гравитационное, сильное».

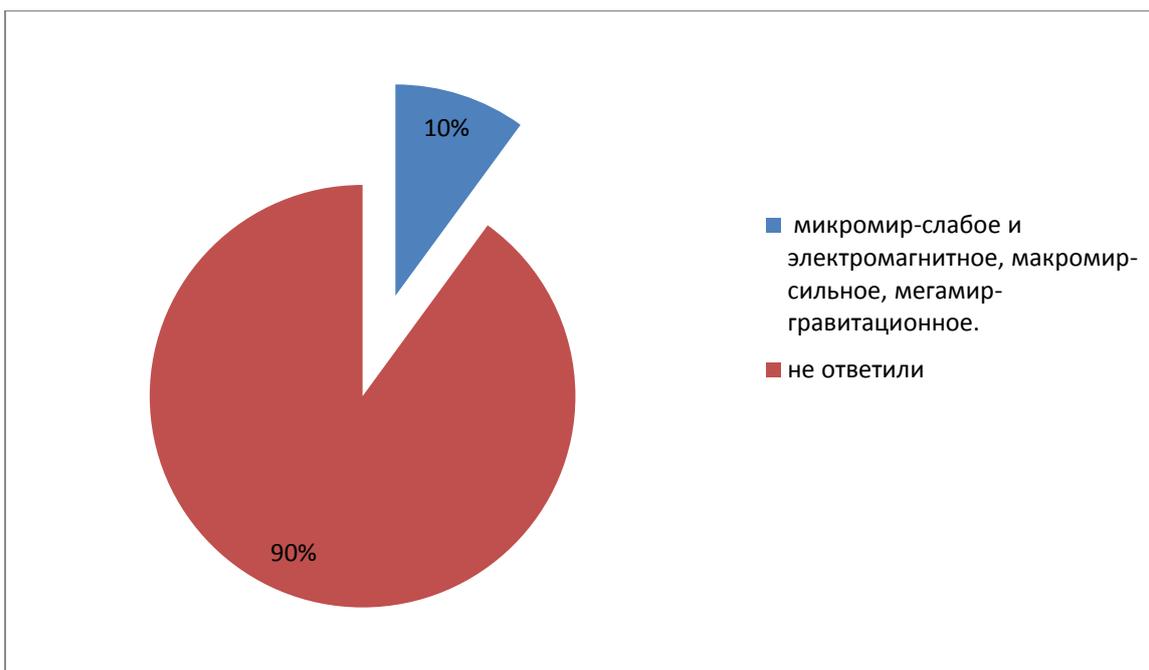


На третий вопрос никто не ответил.

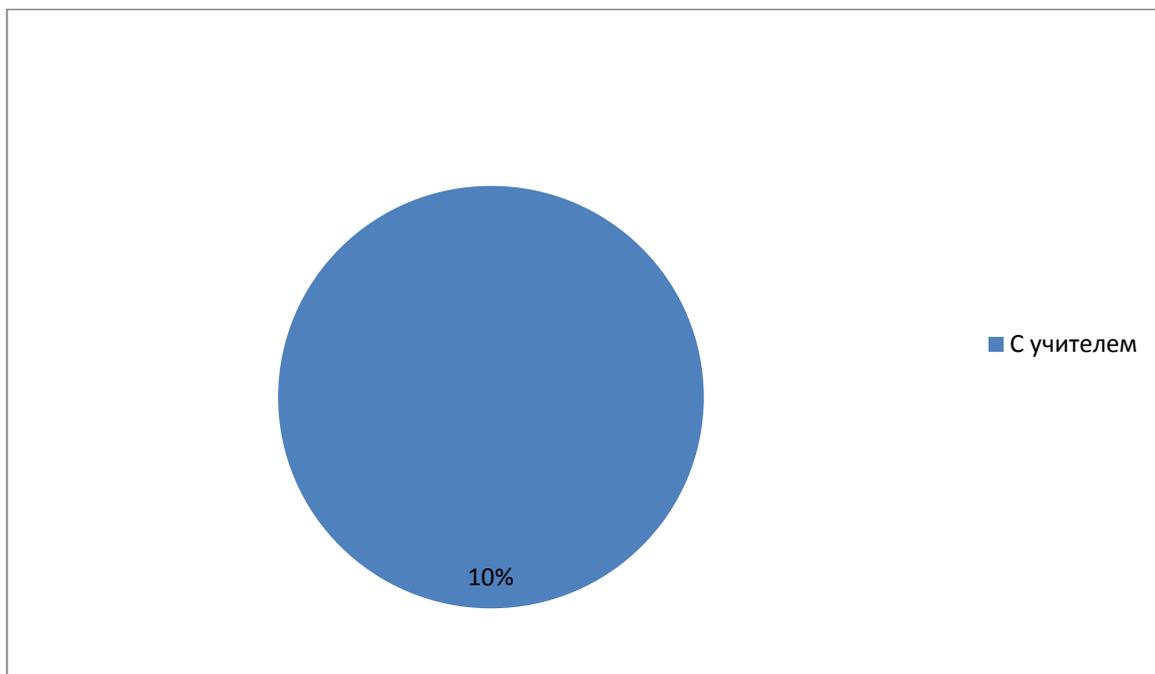
Четвертый вопрос «Приведите примеры различных взаимодействий между физическими объектами» 90% опрошенных не дали ответа. 10% ответили «импульс, передача энергии, движение, соприкосновение».



В пятом вопросе у учащихся так же возникли трудности с ответом. На этот вопрос дали ответ только 10% опрошенных, указав, что в микромире наблюдается слабое и электромагнитное, в макромире сильное, а в мегамире гравитационное.



Шестой вопрос не вызвал трудности у опрошенных, на него ответили все. Все 100% учащихся считают, что лучше слушать учителя, чем изучать самостоятельно. Причины этого выбора они указывают разные, но в большинстве причинной служит лучшее усвоение материала.



Анализ результатов педагогического эксперимента показал, что уровень сформированности у учащихся понятия «фундаментальное взаимодействие» позволяет сделать следующий вывод: в современном курсе физики этому понятию не выделено должного внимания.

Заключение

Проблема, рассмотренная в выпускной квалификационной работе, актуальна и раскрыта. В ней выделены отдельные вопросы по повышению уровня сформированности познавательной деятельности учащихся в процессе обучения физике.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

1. Изучено состояние исследуемой проблемы в практике школьного обучения.
2. Проведен теоретический анализ проблемы в методической литературе по теме исследования.
3. Систематизированы приемы и методы для повышения качества обучения учащихся по теме «фундаментальные взаимодействия»
4. Проведен педагогический эксперимент.

Проблема, рассмотренная в ВКР, требует своего дальнейшего исследования, направленного на выявление особенностей методики формирования основных понятий у учащихся по теме «Фундаментальные взаимодействия».

Библиографический список

1. Бондарев, В.П. Концепции современного естествознания / В.П.Бондарев. - М.: Альфа. 2009. - 464 с.
2. Иваненко, Д.Д. Гравитация / Д.Д.Иваненко, Г.А.Сарданашвили. - М.: УРСС, 2008. - 200 с.
3. Брагинский В. Б., Руденко В. Н. Релятивистские гравитационные эксперименты. — УФН, 100, 1970.
4. Панкратов С. Фундаментальные силы в природе / С.Панкратов // Наука и жизнь. - 1987. - №5.
5. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. М., «Наука», 1972.
6. Левич В. Г., Вдовин Ю. А., Мямлин В. А. Курс теоретической физики. Т. II. М., «Наука», 1971.
7. Вайскопф В. Современная физика в элементарном изложении. — УФН, 103, 1971.
8. 49. Ефименко В. Ф. Физическая картина мира. — «Физика в школе», 1973, № 3.
9. Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М., «Наука», 1970.
10. Блохинцев Д. И. Геометрия и физика микромира. — УФН, ПО, 1973
11. Мултановский В.В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе. Пособие для учителей. М., «Просвещение», 1977
12. Физика. 9кл. : учебник / А.В Перышкин, Е. М Гутник. – М.: Дрофа, 2014. – 319, [1] с. : ил. ISBN 978-5-358-09883-1
13. Физика: Учеб. для 9 кл. общеобразоват. учреждений/ С.В. Громов, Н.А. Родина – 4-е изд. - М.: Просвещение, 2003. – 160с.: ил. ISBN 5-09-02189-3.
14. Мякишев Г. Я. Элементарные частицы. М., «Просвещение», 1973.
15. Блохинцев Д. И. Геометрия и физика микромира. — УФН, ПО, 1973.
16. Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М., «Наука», 1970.

- 17.Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. М., Физматгиз, 1958.
- 18.Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Ч. I. М.—Л., Гостехиздат, 1948.
- 19.<http://window.edu.ru/resource/895/56895/files/Esenkova.pdf>
- 20.Ефименко В. Ф. Методологические вопросы школьного курса физики. М., «Педагогика», 1976.

Приложение