

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра общей, теоретической и компьютерной физики

Разработка дидактического материала по теме: «Строение атома»

**АВТОРЕФЕРАТ
БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 5 курса 5002 группы института физики
направление 44.04.01 «Педагогическое образование»

Абрамова Андрея Александровича

Научный руководитель

д.ф.-м.н, проф.



Т.Г. Бурова

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., проф.



В.М. АНИКИН

Саратов 2024 г.

Введение

Атом является основным строительным блоком всей материи. Изучение его структуры имеет решающее значение для понимания свойств и поведения различных элементов и соединений. Развитие моделей атома на протяжении многих лет привело к глубокому пониманию его внутреннего строения и открыло путь к многочисленным технологическим достижениям таким как:

1. Ядерная Энергетика: Использование энергии, выделяемой при расщеплении или синтезе ядер, для производства электроэнергии.
2. Компьютерные технологии: Создание и развитие компьютеров, программного обеспечения, сетей и Интернета.
3. Генная инженерия: Изменение генетического материала организмов для улучшения их характеристик или лечения болезней.
4. Машинное оборудование: Разработка алгоритмов и моделей, которые позволяют компьютерам учиться из данных и принимать решения.
5. Космос: Исследование и освоение космоса с помощью ракет, спутников и космических станций.
6. Медицинские технологии: Разработка новых методов лечения, лекарств и устройств для улучшения здоровья и благополучия человека.
7. Возобновляемые источники энергии: Использование таких источников энергии, как солнечная, ветровая и гидроэнергетическая, для снижения зависимости от ископаемого топлива.
8. Нанотехнологии: Изучение и применение материалов и устройств на атомном и молекулярном уровне.
9. Робототехника: Разработка и применение роботов для выполнения различных задач, от производства до исследований.

Понимание строения атома имеет далеко идущие последствия для различных областей науки и техники. Оно лежит в основе химии, физики, биологии и материаловедения. Изучение строения атома позволило нам разработать новые материалы, понять химические реакции и создать множество технологий, которые улучшили нашу повседневную жизнь.

Эта бакалаврская работа посвящена исследованию строения атома. В ней будут рассмотрены различные модели атома, от модели Томсона до современной модели, основное внимание будет уделено описанию строения ядра, квантово-механических принципов, лежащих в основе поведения электронов в атоме.

Понимание строения атома позволяет ученым предсказывать и объяснять химические реакции, проектировать новые материалы и исследовать процессы, происходящие на атомном и молекулярном уровнях.

Целью моей работы является разработка дидактического материала по теме "Строение атома".

Задачами являются сформировать понятие об атоме как основной структуре вещества, изучить исторический экскурс в исследовании строения атома, ознакомить учащихся со строением атома и его компонентами, описать модели атома, предложенные разными учеными, изучить свойства и поведение частиц, составляющих атом.

1. Изучение строения атома в общеобразовательной школе

Подраздел 1.1 содержит основные понятия и законы, используемые при изучении темы, а также историю развития представлений о строении атома. Особое внимание уделяется работам Резерфорда.

Исследуя пути движения частиц, Резерфорд заметил, что в камере Вильсона они параллельны (пути), а при пропускании пучка параллельных лучей через слой газа или тонкую металлическую пластинку, они выходят не параллельно, а несколько расходятся, т.е. происходит отклонение частиц от их первоначального пути. Некоторые частицы отклонялись очень сильно, некоторые вообще не проходили через тонкую пластинку.

В центре атома находится положительное ядро, вокруг которого по разным орбитам вращаются отрицательные электроны. В центре атома находится положительное ядро, вокруг которого по разным орбитам вращаются отрицательные электроны. Центробежная сила, возникающая при вращении электронов, удерживает их на своих орбитах и не дает им разлететься в стороны. Эта модель атома легко объясняет явление отклонения α -частиц. Размер ядра и электронов очень мал по сравнению с размером всего атома и определяется орбитой электрона, наиболее удаленного от ядра. α -частицы резко отклоняются от своего первоначального пути из-за электрического отталкивания только тогда, когда они находятся очень близко к ядру. Таким образом, изучение рассеяния альфа-частиц заложило основы ядерной теории. Одной из проблем, с которой столкнулась теория строения атома, было определение величины ядерного заряда различных атомов.

Радиация — это процесс излучения веществом заряженных элементарных частиц, в виде электронов, протонов, нейтронов, атомов гелия или фотонов и мюонов. От того, какой элемент излучается, зависит вид радиации.

Альфа-излучение — это излучение положительно заряженных тяжелых альфа-частиц, которые являются ядрами (два нейтрона и два протона) атома

гелия. Альфа-частицы испускаются при распаде более сложных ядер, таких как распад атомов урана, радия и тория.

Альфа-частицы массивны и испускаются с относительно низкой скоростью, составляющей в среднем 20 000 км/с. Поскольку альфа-частицы очень тяжелые, при контакте с веществом они сталкиваются с молекулами этого вещества, которые начинают взаимодействовать и терять энергию. Поэтому пропускающая способность этих частиц невелика, и их может удерживать даже простой лист бумаги.

Однако альфа-частицы обладают высокой энергией и вызывают значительную ионизацию при взаимодействии с веществом. А в живых клетках, помимо ионизации, альфа-лучи разрушают ткани и вызывают различные виды повреждений живых клеток.

1.2 Порядок изучения темы (анализ учебников различных авторов).

Для сравнительного анализа школьного курса по физике были взяты учебники для 7,8,9 класса под авторством Перышкина А.В., а также учебники 7,8,9 под редакцией Пурышевой Н.С. Основными пунктами изучения строения атома школьном курсе являются:

- 1) Строение вещества (начальные представления) 7 класс
- 2) Строение атома (радиоактивность) 8 класс
- 3) Атом и атомное ядро 9 класс

В первых главах учебников за 7 класс мы знакомимся с терминами такими как:

Физика- одна из наук, изучающих природу и происходящие в ней изменения.

Биологические явления- изменения, которые происходят с телами в природе.

Физические явления- процессы которых различают механические, световые, тепловые, звуковые, магнитные и другие виды.

Законы физики — это явления, подчиняющиеся определенным правилам, закономерностям.

Физическое тело (или просто тело)- все что нас окружает.

Материя- все что существует в природе независимо от нашего сознания.

Физические величины.

Знакомство с атомом происходит в 7 параграфе о строении вещества. Тут предлагается провести 3 опыта.

Стальной шарик в холодном состоянии свободно проходит сквозь кольцо, если шарик нагреть, то он расширяется и застревает. Через некоторое время, шарик остыв, уменьшается, а кольцо нагревшись от шарика расширяется и шарик снова проходит сквозь кольцо. При нагревании расширяются не только твердые тела, но и разнообразные жидкости.

Это можно увидеть на опыте с колбой. На штатив закреплена колба с жидкостью. Колба закрыта пробкой, через которую с колбу опущена стеклянная трубка. Уровень воды в трубке немного больше уровня жидкости в колбе. При нагревании можно заметить, что уровень жидкости в трубке повышается. Опыт показывает, что при нагревании объем тела увеличивается, а при охлаждении уменьшается. Дело в том, что все тела состоят из отдельных частиц, между которыми есть промежутки. С изменением температуры промежутки изменяются, поэтому изменяется и объем тела.

Рассмотрим ещё один опыт. Если смешать равные объемы воды по 100 мл., то получим объем смеси равный 200 мл. Теперь в мензурку нальём 100 мл. воды и 100мл. спирта. Объем смеси получится меньше 200 мл. потому, что при слиянии жидкостей их частицы перемешиваются и более мелкие частицы воды размешиваются между более крупными частицами спирта. Заполнение этих промежутков и способствует уменьшению общего объема вещества.

Сравнивая учебники 7 класса под редакцией Перышкина А.В. и под редакцией Пурышевой Н. С. мы видим:

Перышкин А.В.:

Учебник охватывает широкий спектр тем, начиная от понятий физических величин и измерений до электричества и магнетизма. Он разделен на главы, которые далее делятся на параграфы и пункты. Структура

четкая и логичная. Стил ь написания точный и информативный, хотя и может быть немного сухим. В учебнике много иллюстраций и диаграмм, которые помогают объяснить концепции. Учебник включает в себя эксперименты и практические задания для выполнения. Если акцент делается на широком охвате тем и точном изложении, то учебник Перышкина может быть более подходящим.

Пурышева Н.С.:

Учебник сосредоточен на фундаментальных понятиях физики, таких как движение, силы и энергия. Он уделяет больше внимания экспериментам и практическим задачам. Учебник имеет более свободную структуру, с разделами, посвященными различным темам. Разделы разбиты на более мелкие подзаголовки. Стил ь изложения ясный и увлекательный, с использованием примеров из реального мира. Учебник уделяет больше внимания экспериментам и практическим задачам, предоставляя пошаговые инструкции и вопросы для размышления. Если акцент делается на экспериментах, практических заданиях и увлекательном изложении, то учебник Пурышевой может быть лучшим выбором.

В учебнике физики 8 класса так же продолжается изучение строения атома. Тут мы знакомимся с такими понятиями как:

Атомное ядро. Резерфорд предположил, что отражение альфа-частицы назад обусловлено её столкновением с другой положительно заряженной частицей, масса которой соизмерима с массой α -частицы.

Ядерная модель. Атом устроен подобно Солнечной системе: в центре атома имеется положительно заряженное ядро, а на большом расстоянии от него движутся отрицательно заряженные электроны, как планеты вокруг Солнца.

Протоны-положительно заряженные частицы.

Нейтроны- частицы, не имеющие заряда.

Атом в целом электрически нейтрален, потому что положительный заряд его ядра равен отрицательному заряду всех его электронов.

Однако бывают ситуации, когда атом может потерять один или несколько электронов и стать положительным ионом. Но возможно и

обратное: один или несколько электронов присоединяются к атому. В этом случае атом приобретает отрицательный заряд и становится отрицательным ионом.

Сравнивая представленный материал школьной программы 8 класса по изучению строения атома, Перышкина А.В. и Пурышевой Н. С. видим:

Перышкин А.В.:

В программе учебника хорошее объяснение основных понятий и законов физики. Большое количество примеров и задач для закрепления материала. Интересные исторические справки и биографии ученых. Как мне показалось недостаточное количество экспериментов. Больше ведется упор на теоретические знания, а не на практическое применение. Учебник Перышкина более теоретический.

Пурышева Н.С.:

Учебник показывает современный подход к преподаванию физики. Большое количество лабораторных работ и практических заданий. Связь физики с другими науками и повседневной жизнью. Так же в свою очередь недостаточно глубокое изучение теоретических основ физики. Иногда поверхностное рассмотрение некоторых тем. Учебник Пурышевой Н.С. более практический и ориентирован на развитие экспериментальных навыков. Если цель - развить практические навыки и применить физику в повседневной жизни, то лучше подойдет учебник Пурышевой Н.С.

Изучая строения атома в 9 классе, мы знакомимся с такими понятиями как:

Модель атома, предложенная Томсоном. Первая модель строения атомов была предложена в 1897г. Дж. Томсоном, который экспериментально доказал существование внутри атомов всех химических элементов одинаковых отрицательно заряженных частиц - электронов. Томсон предполагал, что нейтральный атом состоит из положительного электрического заряда, равномерно распределенного по сферическому объему, и отрицательно заряженных электронов внутри атомов. Такая модель аналогична -"кексу".

Опыт Резерфорда. Резерфорд использовал для этой цели поток быстрых положительно заряженных α -частиц, испускаемых некоторыми радиоактивными веществами. Источник α -частиц помещали внутри свинцовой полости с узким каналом. Все α -частицы, кроме тех, которые поглощались свинцом, двигались по узкому каналу. Пропуская пучок α -частиц через тонкую золотую фольгу, Резерфорд обнаружил, что первая часть частиц отклоняется от первоначального направления. Вторая часть частиц не испытывает никаких отклонений. Третья часть частиц отражается от фольги. Все α -частицы, прошедшие через фольгу, или отразившиеся от нее вызывали вспышки на экране. Такая установка, находящаяся в вакууме, позволяет наблюдать α -частицы, рассеянные под углом до 150° .

Естественная радиоактивность- самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие с испусканием частиц.

Радиоактивный распад- Испускание радиоактивных частиц.

α -, β - и γ -излучение.

Ядерный реактор- устройство, в котором осуществляется управляемая реакция деления ядер.

Проводя сравнительный анализ учебников 9 класса по теме строение атома, могу сказать, что в учебниках всех авторов тема раскрыта полностью. Вся информация изложена доступным языком, огромное количество интересной информации. Так же хочется отметить:

Перышкин А.В.:

В учебнике 9 класса мы видим подробное и всестороннее изложение материала. Хорошо структурированный и логически последовательный. Содержит множество примеров и практических задач. Иногда может быть слишком подробным и перегруженным информацией. И тем не менее хорошо подходит для классов с сильными учащимися, которым требуется более углубленное понимание физики.

Пурышева Н.С.:

В этом учебнике мы наблюдаем четкий и понятный стиль изложения. Соответствует современным тенденциям в преподавании физики. Из минусов менее подробное изложение материала, чем у Перышкина А.В. Меньше

примеров и практических задач. По моему мнению является хорошим выбором для классов, где приоритетом является концептуальное понимание и соответствие современным тенденциям в преподавании физики.

2. Дидактические материалы по теме «Строение атома»

2.1 План конспект урока экскурсии «Атом»

Тема урока: «Атом»

Цель урока: способствовать развитию знаний об атоме, пробудить у учащихся интерес к научно-популярной литературе, к изучению предпосылок открытия конкретных явлений; заинтересовать процессом мышления первооткрывателей, расширение кругозора учащихся.

Цели и задачи:

1. Обучающие:
 - Формирование понятия атом.
 - Обеспечить в ходе урока повторение и закрепление знаний учащихся
 - Формировать у учащихся интерес к своему предмету;
2. Воспитательные:
 - Продолжить формирование научно-диалектического мировоззрения
 - Воспитывать трудолюбие, взаимопонимание между учеником и учителем, трудолюбие
3. Развивающие:
 - Развивать логическое мышление, память
 - Развивать умение излагать полученную информацию
 - Развивать умение переключать внимание при смене рода деятельности.

Тип урока: Изучение нового материала

Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, экран.

Ход урока

1) Организационный этап.

Приветствие. Проверка отсутствующих

2) Актуализация знаний.

Во все времена человека волновал вопрос: как устроен мир? Учение об атомах и атомных ядрах стало важнейшей областью физики. Важнейшим достижением науки об атоме стало овладение атомной энергией. Сегодня я вас приглашаю в удивительное путешествие, чтобы изучить величайшие открытия человечества.

3) Первичное усвоение новых знаний.

Путь к современному представлению был долгим и непростым. И наше путешествие начинается.

Представления древнегреческих ученых (Фалес, Эмпидокл, Демокрит).

Средневековый богослов Гильом Коншский считал, что различные сочетания атомов образуют природу. Французский католический священник, философ, математик, астроном и исследователь древних текстов XVI в. Пьер Гассенди полагал, что атомы различаются не только формой, но и весом, а также стремлением к движению. Свой вклад в становление этого понятие внесли такие учёные, как Галилей, Ньютон, Ломоносов, но всё это было на уровне теории.

В 1808 г Дж. Дальтон утверждает «Любая химическая реакция просто изменяет порядок группировки атомов», связывая таким образом понятие атома с химическим элементом. Он утверждал, что атомы одного элемента в точности одинаковы, но атомы различных элементов различаются по весу. Молекулы химических соединений образуются путем сочетания атомов в определенных соотношениях.

И наконец в 1860 г. на международном съезде химиков в Карлсруэ, в Германии, было принято определение атома: наименьшая частица химического элемента, входящая в состав простых и сложных веществ. Химически такая частица действительно неделима, атом – носитель свойств химического элемента. Но каков же он атом? действительно ли он неделим?

Теория атома развивается до сих пор, а экспериментальная физика помогает ученым совершенствовать модель атома.

Хронология событий:

В 1920 г. для обозначения ядра атома водорода был введён специальный термин – протон.

В 1932 г. английский физик Дж. Чедвик открыл частицу с нулевым электрическим зарядом, равную по массе протону. Она была названа нейтроном – и тогда же было высказано предположение, что ядра атомов состоят из протонов и нейтронов. Почти сразу же начались опыты по расщеплению ядер. Немало сделали на этом пути Нильс Бор, Ирен Кюри и Фредерик Жолио, Энрико Ферми.

И наконец в 1939 г. немецкие физики О. Ган и Ф. Штрассман после облучения ядер урана медленными нейтронами получили другое ядро, этот процесс был назван делением ядра.

Первый ядерный реактор был запущен в 1942 г. в Чикаго сотрудниками Чикагского университета под руководством Э. Ферми.

Первый в Европе реактор запущен в 1946г. – в СССР, под руководством И. Курчатова. Цель у этих экспериментов была одна – создание атомной бомбы и она, как известно была достигнута – что почувствовали на себе в 1945 г. жители Хиросимы и Нагасаки. К счастью, у человечества хватило ума не повторять этот «эксперимент». И лишь 9 лет спустя человечество добралось до «мирного атома»: в 1954 г. начала работать первая в мире атомная электростанция – в Обнинске, а в 1986 г. вместе с Чернобыльской атомной электростанцией взорвался миф о безопасности «мирного атома». Эта катастрофа была первой – но не последней: в 2011г. разыгралась трагедия в Японии, и какими могут быть её отдалённые последствия – пока не может сказать никто.

«Отец атомной бомбы» Э. Ферми говорил, что от его изобретения есть только одно средство защиты – мир. От «мирного атома» средство защиты заключается в том же. А что делает его опасным – пресловутый «человеческий фактор». Если японскую катастрофу ещё можно объяснить природными катаклизмами, то авария на Чернобыльской АЭС произошла из-за грубого нарушения правил эксплуатации реактора.

Считается, что первое явление из области ядерной физики было открыто в 1896 г. Анри Беккерелем. Это естественная радиоактивность солей

урана, проявляющаяся в самопроизвольном испускании невидимых лучей, способных вызывать ионизацию воздуха и почернение фотоэмульсий. Через два года Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри открыли радиоактивность тория и выделили из солей урана полоний и радий, радиоактивность которых оказалась в миллионы раз сильнее радиоактивности урана и тория. В 1900 г. Макс-Планк вводит понятие фундаментальной физической константы - кванта, как единицы изменения характеристики-действия не непрерывным, а дискретным путем (т.е. равномерными шагами – квантами). Последующая четверть века стала эпохой формирования и становления новой науки - квантовой механики. Законы квантовой механики позволили выяснить, в частности, строение атомов, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов Менделеева, понять строение атомных ядер, выяснить механизм протекания термоядерных реакций в Солнце и звездах, изучать свойства элементарных частиц. Детальное экспериментальное изучение радиоактивных излучений было произведено Резерфордом. Ядерная природа радиоактивности была понята Резерфордом после того, как в 1911 г. он предложил ядерную модель атома и установил, что радиоактивные излучения возникают в результате процессов, происходящих внутри атомного ядра.

В 1905 г. Альберт Эйнштейн опубликовал свою первую работу по теории относительности, а 10 лет спустя завершил создание общей теории относительности. В результате оказалось, что классическая механика Ньютона не всемогуща и в отличие от теории относительности вообще не применима при движении тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Более того, теория Эйнштейна установила принцип эквивалентности энергии и массы, который сыграл ключевую роль в ядерной энергетике и лежит в основе создания ядерного оружия. Усилиями интернациональной команды великих ученых-физиков, в которой почетное место занимают наши соотечественники, этот век стал «атомным».

Закрепление пройденного материала.

1920 год	Понятие протон
1946 год	Запущен реактор в СССР
1945 год	Хиросима и Нагасаки
1986 год	Авария на Чернобыльской АЭС

4) Домашнее задание.

§ 19,20 (подготовиться к лабораторной работе.)

5) Рефлексия.

1. Что нового узнали на уроке? (радиоактивность урана)
2. В каком году произошла Чернобыльская катастрофа? (1986)
3. Кто открыл радий? (Мари Кюри)

Бакалаврская работа содержит также подбор задач различного уровня сложности (подраздел 2.2) и виртуальные опыты (подраздел 2.3).

Заключение

В данной бакалаврской работе было рассмотрено строение атома. Были изучены различные модели атома, от модели Томсона до современной квантово-механической модели. Также были рассмотрены свойства электронов, протонов и нейтронов, составляющих атом.

Исследование показало, что атом имеет сложное строение и подчиняется законам квантовой механики. Современная модель атома основана на квантово-механическом описании электронов, которое рассматривает их как волны, а не как частицы.

Понимание строения атома имеет большое значение для многих областей науки и техники. Оно позволяет объяснить многие физические явления, такие как химические реакции, свойства материалов и поведение света. Кроме того, оно является основой для таких технологий, как ядерная энергетика и квантовые вычисления.

В ходе выполнения дипломной работы были разработаны дидактические материалы по изучению строения атома в общеобразовательной школе.

Полученные результаты могут быть использованы в процессе обучения учащимися общеобразовательных школ и учителями.

Список использованных источников

1. Атомная и ядерная физика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Сербинова. — М.: Наука, 1989
2. Атом [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. - URL: <https://bigenc.ru/physics/text/1840891> [Электронный ресурс] (дата обращения 15.03.2024г.)
3. Боровская модель атома / Н. Бор // Philosophical Magazine. — 1913. — Т. 26, № 153. — С. 1-24
4. Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/Атом>[Электронный ресурс] (дата обращения 05.05.2024г.)
5. Виртуальное строение атома. <https://stemonline.tech/en/chemistry/atoms/> [Электронный ресурс] (дата обращения 13.04.2024г.)
6. Квантовая механика: Учебное пособие для вузов / Под ред. Д.И. Блохинцева. — М.: Наука, 1981
7. Квантово-механическая модель атома / В. Гейзенберг // Zeitschrift für Physik. — 1925. — Т. 33, № 1-2. — С.879-893
8. Опыт Резерфорда https://sverh-zadacha.ucoz.ru/Virtual_lab/Phet/11-12-alpha.htm[Электронный ресурс] (дата обращения 05.05.2024г.)
9. Строение атома // Википедия: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B [Электронный ресурс] (дата обращения 15.05.2024г.)

10. Строение атома по данным квантовой механики / В.А. Фок // Успехи физических наук. — 1928. — Т. 8, № 4. — С. 249-277
11. Физика атома: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.А. Соколова. — М.: Высшая школа, 1994
12. Физическая химия. Квантовая химия. Строение атома, молекул и кристаллов: учебник для вузов / Под ред. Р. А. Лидина, В. А. Молочного, А. А. Вдовина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Московского университета, 2014. - 560 с.
13. Физика. 7 класс. Учебник – Перышкин А.В. 3 издание перераб. ДРОФА 2023 год. С. 1-28
14. Физика. 8 класс. Учебник – Перышкин А.В. Иванов А.И. 4 издание перераб. ДРОФА 2023 год. С. 181-218
15. Физика. 9 класс. Учебник – Перышкин А.В. Иванов А.И. 3 издание перераб. ДРОФА 2023 год. С. 271-320
16. Физика. 7 класс. Учебник - Пурышева Н.С., Важеевская Н.Е. 9 издание перераб. ДРОФА 2020 год. с. 1-25
17. Физика. 8 класс. Учебник - Пурышева Н.С., Важеевская Н.Е. 8 издание перераб. ДРОФА 2020 год. с 154-163
18. Физика. 9 класс. Учебник - Пурышева Н.С., Важеевская Н.Е. Чаругин В.М. 7 издание перераб. ДРОФА 2019 год. С. 216-248
19. Шабанов Ю. А., Ивановский А. Л. Строение атома и периодический закон: современные представления // Успехи физических наук. - 2015. - Т. 185, № 12. - С. 1297-1326
20. Электронная структура атомов и молекул / Д.И. Менделеев // Журнал Русского физико-химического общества. — 1871. — Т. 3, № 1. — С. 25-56
21. Ядерная модель атома / Э. Резерфорд // Philosophical Magazine. — 1911. — Т. 21, № 125. — С. 669-688

