

Наглядное моделирование как метод обучения общей химии при изучении темы «Строение атома и периодический закон»

Е. А. Шатова, старший преподаватель кафедры химии и естественнонаучного образования Витебского государственного университета имени П. М. Машерова,

И. С. Борисевич, заведующая кафедрой химии и естественнонаучного образования Витебского государственного университета имени П. М. Машерова, кандидат педагогических наук, доцент,

Е. Я. Аршанский, проректор по научной работе Витебского государственного университета имени П. М. Машерова, доктор педагогических наук, профессор

Аннотация. В статье раскрыты возможности использования наглядного моделирования при изучении темы «Строение атома и периодический закон» в курсе общей химии. Приведены примеры моделей, способствующих глубокому пониманию строения атомов, молекул, кристаллических структур, а также оценки уровня знаний и сформированности умений при обучении студентов общей химии.

Ключевые слова: общая химия, строение вещества, наглядное моделирование, диагностика знаний, методика преподавания химии.

Современные средства наглядности создают условия для обучения и активизации познавательной деятельности у студентов. Как показано ранее [1], наглядное моделирование следует рассматривать как особый метод обучения, в основе которого лежит воспроизведение существенных свойств и взаимосвязей изучаемых понятий с помощью визуальных моделей. Такой подход обеспечивает не только глубокое понимание учебного материала, но и формирование умений применять полученные знания для анализа и прогнозирования свойств веществ.

В данной статье рассмотрим возможности использования наглядного моделирования в обучении и диагностике результатов обучения при освоении модуля «Строение атома и периодический закон» в курсе общей химии. В этот модуль входят две темы («Строение атома» и «Периодическая система элементов»), изучение которых, как показывает практика, вызывает трудности у студентов первого курса несмотря на то, что в школьном курсе химии они получили представления о строении атома, природе электрона, об электронном облаке, устойчивости ядер, явлении радиоактивности.

В университетском курсе общей химии предусмотрено изучение таких вопросов, как

теория строения атома водорода по Бору, её внутренние противоречия; волны де Бройля, корпускулярно-волновой дуализм, принцип неопределённости Гейзенберга; квантовые числа как параметры, определяющие состояние электрона в атоме и их физический смысл; основные принципы заполнения энергетических уровней и подуровней; электронные и электронно-графические схемы.

В рамках модуля «Строение атома и периодический закон» использование наглядного моделирования особенно эффективно, поскольку данный раздел требует оперирования абстрактными представлениями об атомах, ионах, молекулах, кристаллических структурах. Для успешного усвоения материала применяется следующая классификация учебных моделей [2; 3]:

- *знаково-символические* (электронная формула и электронно-графическая конфигурация атомов химических элементов);

- *таблично-схематические* (электронная схема строения атомов и ионов, схема строения электронных орбиталей атомов, табличные данные, содержащие абсолютные и относительные значения масс и зарядов элементарных частиц, из которых состоит атом, таблица распределения электронов в атоме по энергетическим уровням и подуровням,

таблица квантовых чисел, таблица периодической системы химических элементов, диаграмма энергетических уровней многоэлектронных атомов, схемы устойчивости ядер и явлений радиоактивности и др.);

- *иллюстративно-графические* (схематический рисунок строения атома, график изменения электроотрицательности атомов, график изменения свойств атомов элементов и их соединений по периодам и группам, модели атомов и молекул);

- *иллюстративно-динамические* (3D-модели, компьютерные анимации, например корпускулярно-волновой дуализм, строение атома и атомного ядра).

Важно в начале изучения темы актуализировать уже имеющиеся знания студентов. В этом помогают схематические модели строения атома (рис. 1) и его ядра, а также компьютерные модели и симуляции, показывающие пространственное расположение элементарных частиц.

Приведём примеры заданий, используемых для актуализации знаний в этой теме.

Задание 1. Определите, представленная модель является нейтральным атомом или

ионом. Укажите, какой это химический элемент, включая массовое число, атомный номер и заряд (если имеется).

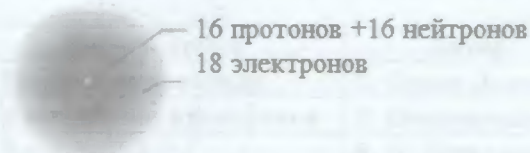


Рисунок 1 — Модель атома

Решение.

В нейтральном атоме количество протонов равно количеству электронов. Модель представляет отрицательный ион, так как количество электронов больше на два по отношению к количеству протонов. Химический элемент — сера, массовое число — 32, атомный номер — 16, заряд иона — 2-.

Использование динамических демонстраций с ресурса PhET Interactive Simulations предлагает интерактивный образовательный материал, в том числе по общей химии (рис. 2, 3).

PhET INTERACTIVE SIMULATIONS

Создано 11.06.17. Обновления доступны онлайн

University of Colorado Boulder

Симуляции

- Новые Симулы
- HTML5
- Физика
 - Движение
 - Звук и волны
 - Работа, энергия и мощность
 - Тепло и термодинамика
 - Квантовые явления
 - Свет и излучение
 - Электричество, магниты и цепи
- Биология
- Химия
 - Общая химия
 - Квантовая химия
- Наука о Земле
- Математика
- По уровню обучения
 - Начальная школа
 - Средняя школа
 - Средняя школа
 - Университет
- По устройству
 - iPad/планшет

Построить атом

Neutral Atom

Build Atom

• Атомы

• Атомная структура

• Символы изотопов

ПОЖЕРТВОВАТЬ

PhET поддерживается

ECS

и педагоги, такие как вы

Оригинальная симуляция и переводы

ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ

Советы учителю

Обзор элементов управления симуляцией, упрощенный модели и понимания мышления студентов (PDF)

Задания, предоставленные учителем

ЗАГОВОРОК	★	PhET	АВТОРЫ	УРОВЕНЬ	ТИП
Построить атом	★	PhET	Эмили Мур, Аркэль Поп, Триш Лебейн, Кэти Перкинс	PC	Лабораторное руководство HW

Рисунок 2 — Страница сайта программы PhET Interactive Simulations

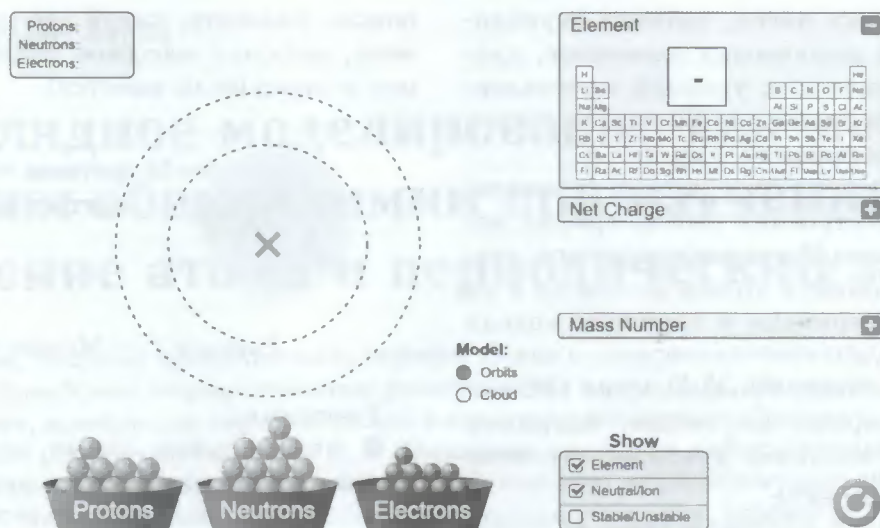


Рисунок 3 — Модель строения атома (скриншот анимации)

Задание 2. Используя магнитную (или виртуальную (Jamboard, Miro)) доску или приложение (3D-моделирование молекул Avogadro), соберите наглядную модель и определите число электронов:

а) в молекулах оксида серы(IV), оксида азота(IV), оксида углерода(II);

б) в ионах: CO_3^{2-} ; PO_4^{3-} ; ClO_3^- ; H_3O^+ .

Приведите названия этих ионов.

Решение.

а) В молекуле оксида серы(IV) SO_2 атом серы (S) имеет 16 электронов, два атома кислорода (O) — 16 электронов. Следовательно, общее число электронов равно 32.

Аналогично рассуждаем для оксида азота(IV) и оксида углерода(II).

б) В карбонат-ионе CO_3^{2-} атом углерода (C) имеет 6 электронов, три атома кислорода (O) — 24 электрона, заряд -2 подразумевает наличие ещё 2 электронов. Следовательно, общее число электронов равно 32.

Аналогично рассуждаем для остальных ионов.

Для формирования понятия об изотопах необходимо, чтобы студенты понимали, что в природе существуют разновидности атомов одного и того же химического элемента, имеющего одинаковые заряды ядер (одинаковое число протонов), но разные массовые числа. Приведём пример задачи на основе наглядного моделирования, которая поможет усвоить это понятие.

Задание 3. На рисунке представлена модель атомов неизвестного элемента, который мы назовём новадием (Nv). Светлые

шарики — изотоп ^{293}Nv , а тёмные шарики — изотоп ^{295}Nv . Рассчитайте процентное содержание каждого изотопа. Укажите значение атомной массы (веса) элемента Nv, если масса ^{293}Nv составляет 293,15 а. е. м, а ^{295}Nv — 295,15 а. е. м.

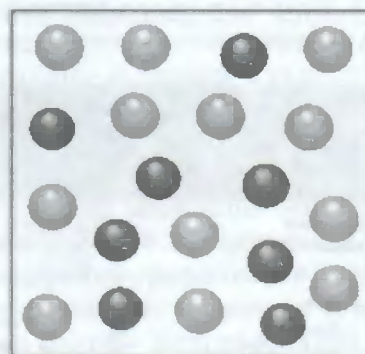


Рисунок 4 — Модель атомов неизвестного элемента

Решение.

Всего имеется 20 шариков, из них — 12 светлых (^{293}Nv) и 8 тёмных (^{295}Nv).

Для ^{293}Nv — $12 : 20 \cdot 100 \% = 60 \%$.

Для ^{295}Nv — $8 : 20 \cdot 100 \% = 40 \%$.

Средний атомный вес элемента Nv составляет:

$$A_r = 0,60 \cdot 293,15 + 0,40 \cdot 295,15 = 293,95 \text{ а. е. м.}$$

Наглядное моделирование помогает акцентировать внимание студентов на схеме радиоактивного распада и видах радиоактивного распада при изучении явления радиоактивности.

Задание 4. На рисунке 5 изображён график зависимости числа распадающихся ядер радиоактивного изотопа N , находящихся в замкнутой системе при постоянных внешних условиях. Определите период полураспада данного изотопа. Рассчитайте, через какой промежуток времени масса радиоактивного вещества уменьшится в 8 раз.

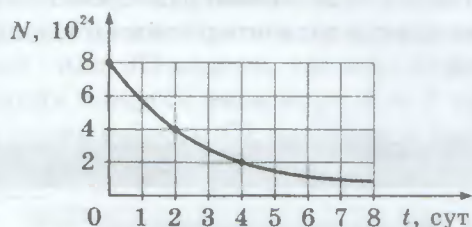


Рисунок 5 — Модель кинетики радиоактивного распада

Решение.

В начальный момент времени $t = 0$ количество ядер $N = 8 \cdot 10^{24}$. Через 2 суток количество ядер $N = 4 \cdot 10^{24}$. Следовательно, период полураспада $t_{1/2} = 2$ суток.

На основе закона радиоактивного полураспада,

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}},$$

где N_0 — начальное количество ядер; $t_{1/2}$ — период полураспада; t — время.

Для уменьшения массы (или числа ядер) в 8 раз

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3;$$

$$t/t_{1/2} = 3; t = 3 \cdot t_{1/2} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ (суток)}.$$

Ответ: масса радиоактивного вещества уменьшится в 8 раз за 6 суток.

Изучение теории строения атома предусматривает анализ экспериментальных доказательств его сложного строения, послуживших основанием для создания моделей строения атома: планетарной (ядерной) модели атома Э. Резерфорда, квантовой теории Н. Бора и современной квантово-механической модели атома. Для лучшего понимания логики развития взглядов на строение атома рекомендуется изучать представления о строении атома в хронологической последовательности в виде графической схемы, отражающей ленту времени эволюции представлений об атоме. Также можно использовать задание на соответствие.

Задание 5. Установите в исторической последовательности соответствие между содержанием модели, посвящённой строению атома и фамилией учёного, её предложившего:

Модель атома	Автор
А. Волновое уравнение	1. Джон Дальтон
Б. Химическая атомистика	2. Современность
В. Идея атома	3. Э. Шрёдингер
Г. Планетарная	4. Э. Резерфорд
Д. Квантово-механическая	5. Н. Бор
Е. «Пудинговая»	6. Демокрит
Ж. Квантовая	7. Дж. Томсон

Ответ: В6, Б1, Е7, Г4, Ж5, А3, Д2.

Наибольшие затруднения у студентов вызывают вопросы, связанные с представлением о двойственной природе электронов, т. е. о корпускулярно-волновом дуализме, принципе неопределённости Гейзенберга, решении волнового уравнения Шрёдингера. Для преодоления трудностей в освоении представлений об основных положениях квантовой механики можно использовать моделирование с помощью компьютерных симуляций PhET Interactive Simulations, Falstad Ripple Tank Simulator, пакеты для моделирования экспериментов MATLAB и Python, а также анимации на российских платформах (ФИЗИКОН, 1С: Школа):

- *квантование энергии* — электрон (шарик в атоме) может находиться на определённых ступеньках лестницы (энергетических уровнях); когда электрон «прыгает» с одной ступеньки на другую, он либо поглощает, либо излучает определённое количество энергии. Аналогией служит симуляция подбрасывания монеты (орёл или решка), иллюстрирующая вероятность квантовых переходов (рис. 6);

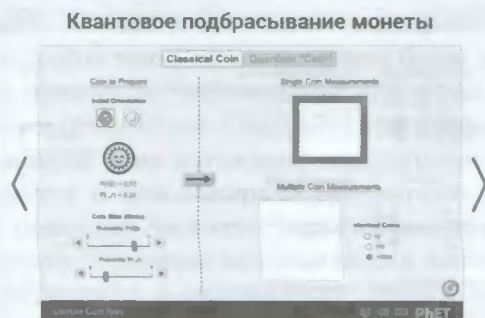


Рисунок 6 — Симуляция квантового подбрасывания монеты

- *корпускулярно-волновой дуализм* (свет проходит как пучок частиц — рассеивание световых частиц на экране, и как волна — показ интерференции световых волн на воде; аналогично электрон (шарик) прыгает между энергетическими уровнями (ступеньками) и, как волна, интерферирует и создаёт стоячие волны вокруг ядра атома). Наглядно показывают принцип квантовой химии симуляции в программах для вычислений Python и MATLAB, демонстрирующие интерференцию

и дифракцию света, моделирование энергетических уровней электронов, а также их волновые свойства в атоме (рис. 7);

- принцип неопределённости Гейзенберга (шарик катится по наклонной плоскости). Представляем попытку одновременного измерения положения и скорости шарика: состояние шарика — это состояние микрочастиц, для которых невозможно одновременно с точностью определить координаты и скорость частиц);

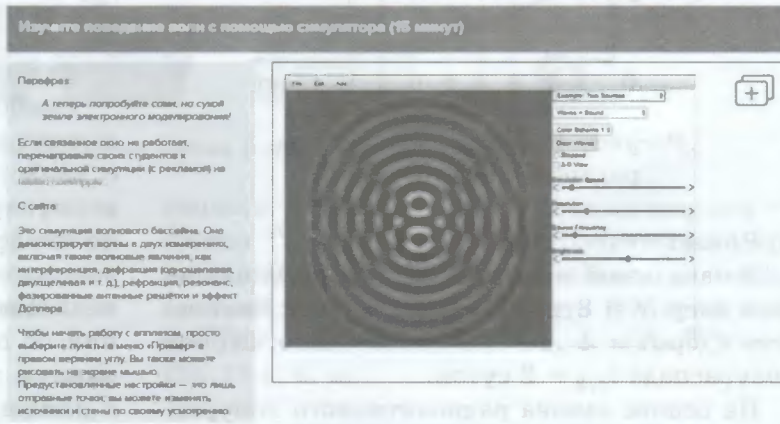
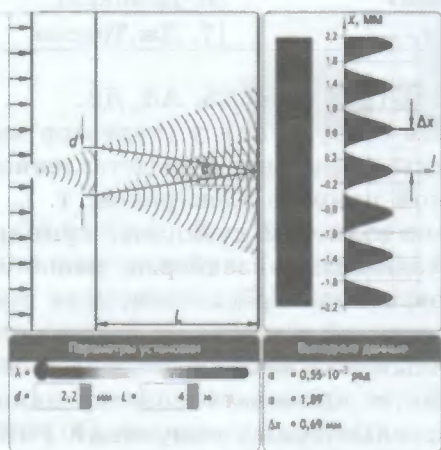


Рисунок 7 — Скриншот интерактивной модели с сайта physicon.ru и симуляции Ripple Tank

- *математическая модель Шрёдингера* (визуально доступные физические модели струны или маятника можно использовать, чтобы показать колебательные движения, аналогичные квантовым состояниям). Волновые функции решений уравнения Шрёдингера вычисляются с помощью квантово-химических программ Gaussian, ORCA, VASP и др.

Также можно использовать интерактивные модели на платформе 1С: Школа, которые помогают осваивать темы, связанные со строением атома (рис. 8).

В соответствии с современными представлениями квантовой механики, энергетическое состояние электрона в атоме описывается с помощью набора *квантовых чисел*, каждое из которых несёт определённую физическую информацию.

Для усвоения основных принципов заполнения энергетических уровней и подуровней существует простая наглядная модель, в которой принято символически изображать каждую *орбиталь* в пространстве клеткой (квантовой ячейкой) (рис. 9).

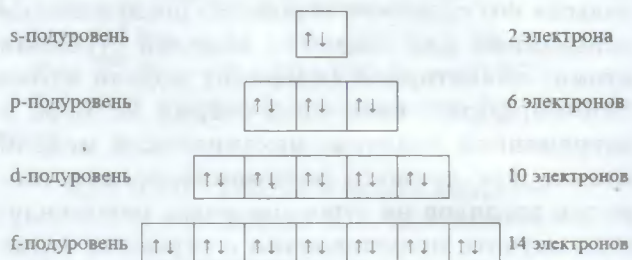
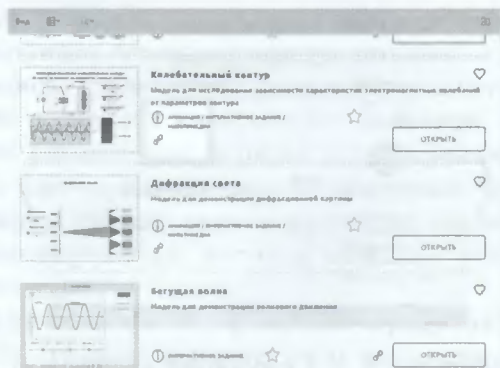


Рисунок 9 — Модель, отражающая максимальную ёмкость энергетических подуровней

Рисунок 8 — Скриншот платформы 1С: Школа

В данной теме используется много абстрактных понятий, понимание которых требует наличие у студентов пространственного мышления. Чтобы преодолеть сложности в понимании вопросов, связанных с формой и размерами электронного облака, представлениями об электронных оболочках атомов, об орбиталях, различных по форме, энергии и пространственной ориентации, рекомендуется использовать иллюстрации пространственных моделей или 3D-модели, где отражены конфигурации каждого типа s -, p -, d - и f -орбиталей, а также работу с 3D-моделями в приложениях MolView, Orbital Viewer, PhET (рис. 10).

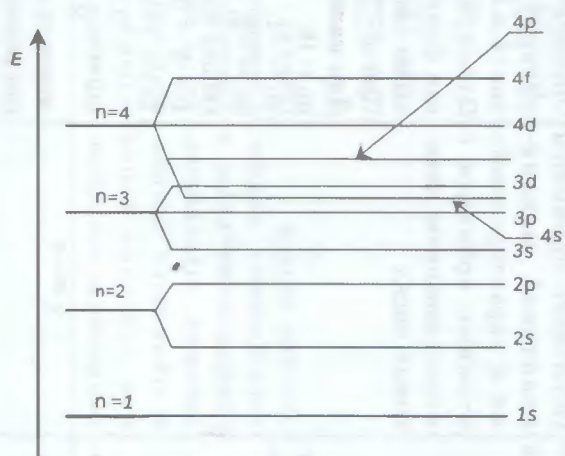


Рисунок 10 — Модель электронных энергетических состояний атома

С помощью наглядного моделирования формируются представления об основном и возбужденном состоянии атома, о закономерностях в последовательности заполнения атомных орбиталей в атомах (по принципу Паули, принципу наименьшей энергии, правилу Хунда), о навыках визуализации распределения электронов в атоме различными способами (составление электронно-графических схем, формул электронных конфигураций атомов, диаграмм электронных энергетических состояний атома). Приведем примеры заданий на моделирование электронного строения атомов и ионов.

Задание 6. Используя для наглядного моделирования магнитную или цифровую (MolView, Jamboard, Miro) доску, приведите электронные конфигурации и электронно-графические схемы атомов цинка, брома, серебра, криптона.

Задание 7. Приведите электронные конфигурации и электронно-графические схемы атомов меди и хрома в основном состоянии.

Приведите примеры электронных конфигураций и электронно-графических схем, которые соответствуют возбужденным состояниям этих атомов. Укажите число неспаренных электронов.

Изучение периодического закона в свете представлений о строении атома и Периодической системы химических элементов включает понимание структуры периодической таблицы и особенностей распределения элементов по периодам и группам, взаимосвязь местонахождения элемента и его свойств, основные характеристики атомов: атомные радиусы, электроотрицательность, степень окисления. Ценным наглядным ресурсом при изучении вышеперечисленных вопросов служат интерактивные периодические таблицы, реализованные в программах Periodic Table Live, WebElements, Kalzium. Они позволяют глубже понять состав и свойства соединений атомов элементов, их поведение и взаимодействие в различных химических реакциях, а также выполнять ряд практических заданий.

Задание 8. Заполните пробелы в следующей таблице.

Таблица 1 — Характеристики атомов и ионов (d - и f -элементов)

Символ	$^{59}\text{Co}^{3+}$			^{52}Cr	
Протоны		25			
Нейтроны		30	64		120
Электроны			48		
Заряд иона	3+				
Относительная атомная масса					

Задание 9. Изобразите диаграмму энергетических уровней атома натрия в основном состоянии. Укажите электронно-графическую схему атома натрия и превращения его в ион натрия Na^+ .

Наглядное моделирование помогает структурировать знания и облегчает понимание сложных вопросов темы, делая материал более доступным и понятным, особенно при сочетании теоретических объяснений с визуальными моделями.

В данной теме наглядное моделирование используется и для контроля результатов обучения с помощью тестовых заданий и ситуационных задач. Примеры использования наглядного моделирования в диагностике знаний и сформированности умений при обучении студентов общей химии по теме «Строение атома и периодический закон» приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Диагностика уровня знаний по общей химии на основе применения наглядного моделирования

Знать	Тестовые задание	Уметь	Ситуационные задания		
Строение атома: ядерная модель; состав атомного ядра; физический смысл атомного номера; нуклиды и изотопы; явление радиоактивности	Какой вывод можно сделать из изображения, представленного ниже? ● протон  Нуклид 1  Нуклид 2 ● нейтрон  Нуклид 3  Нуклид 4 <table><tr><td>Ядра атомов одного элемента (изотопы)</td><td>Ядра атомов разных элементов (не являются изотопами)</td></tr></table> а) изотопы — это атомы одного элемента с разной массой; б) изотопы — это разные элементы с одинаковой массой; в) изотопы содержат одинаковое число нейтронов; г) разные элементы имеют одинаковый состав ядра	Ядра атомов одного элемента (изотопы)	Ядра атомов разных элементов (не являются изотопами)	Описывать строение атома на основе различных моделей, определять состав ядра, различать нуклиды и изотопы, анализировать радиоактивные превращения	При археологических раскопках было обнаружено неизвестное радиоактивное вещество. Массовый спектрометр показал, что вещество состоит в основном из атомов с массовым числом 60 и зарядовым числом 27. Через 5,3 года активность образца снизилась: стали преобладать ядра атома с массовым числом 60 и зарядовым числом 28. Известно, что один из продуктов распада испускает β-частицы. Определите, о каком химическом элементе идёт речь в исходном и конечном состоянии. Какая модель строения атома объясняет подобные превращения? Ответ: $\frac{60}{27}\text{Co} \rightarrow \frac{60}{28}\text{Ni} + e^-; \quad \beta\text{-распад; через 5,27 лет происходит полураспад кобальта-60; подобные превращения объясняет ядерная модель атома.}$
Ядра атомов одного элемента (изотопы)	Ядра атомов разных элементов (не являются изотопами)				
Положения квантовой механики: квантование энергии; корпускулярно-волновой дуализм; состояние электрона в атоме, квантовые числа	1. Назовите два элемента, в атомах которых последний электрон — второй на 4s-подуровне. а) Si; б) Ca; в) Cu; г) Ge 2. Квантовые числа для электрона внешнего электронного слоя неизвестного элемента имеют следующие значения: $n = 4; l = 0; m_l = 0; m_s = +\frac{1}{2}.$ Назовите этот элемент. а) натрий; б) калий; в) барий; г) кальций	Объяснять принципы квантовой механики и характеризовать атомные орбитали с использованием квантовых чисел	Определите, сколько различных волновых функций соответствует главному квантовому числу $n = 3$. Ответ: в квантовой механике каждая волновая функция (ψ) определяется тремя квантовыми числами (n, l, m_l). При $n = 3$ возможные значения $l = 0, 1, 2$. Для каждого l: $m_l = 0$; $m_l = -1, 0, +1$; $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$. Общее число волновых функций — $1 + 3 + 5 = 9$. Если учитывать спиновое квантовое число $m_s = \pm \frac{1}{2}$, можно рассчитать общее число возможных электронных состояний: $9 \cdot 2 = 18$ (по условию спрашивают без его учёта)		

Таблица 2 — Диагностика уровня знаний по общей химии на основе применения наглядного моделирования

Знать	Тестовые задание	Уметь	Ситуационные задания		
Строение атома: ядерная модель; состав атомного ядра; физический смысл атомного номера; нуклиды и изотопы; явление радиоактивности	Какой вывод можно сделать из изображения, представленного ниже? ● протон  <table><tr><td>Ядра атомов одного элемента (изотопы)</td><td>Ядра атомов разных элементов (не являются изотопами)</td></tr></table> а) изотопы — это атомы одного элемента с разной массой; б) изотопы — это разные элементы с одинаковой массой; в) изотопы содержат одинаковое число нейтронов; г) разные элементы имеют одинаковый состав ядра	Ядра атомов одного элемента (изотопы)	Ядра атомов разных элементов (не являются изотопами)	Описывать строение атома на основе различных моделей, определять состав ядра, различать нуклиды и изотопы, анализировать радиоактивные превращения	При археологических раскопках было обнаружено неизвестное радиоактивное вещество. Массовый спектрометр показал, что вещество состоит в основном из атомов с массовым числом 60 и зарядовым числом 27. Через 5,3 года активность образца снизилась: стали преобладать ядра атома с массовым числом 60 и зарядовым числом 28. Известно, что один из продуктов распада испускает β-частицы. Определите, о каком химическом элементе идёт речь в исходном и конечном состоянии. Какая модель строения атома объясняет подобные превращения? Ответ: $\frac{60}{27}\text{Co} \rightarrow \frac{60}{28}\text{Ni} + e^-; \quad \beta\text{-распад;}$ через 5,27 лет происходит полураспад кобальта-60; подобные превращения объясняет ядерная модель атома.
Ядра атомов одного элемента (изотопы)	Ядра атомов разных элементов (не являются изотопами)				
Положения квантовой механики: квантование энергии; корпускулярно-волновой дуализм; состояние электрона в атоме, квантовые числа	1. Назовите два элемента, в атомах которых последний электрон — второй на 4s-подуровне. а) Si; б) Ca; в) Cu; г) Ge 2. Квантовые числа для электрона внешнего электронного слоя неизвестного элемента имеют следующие значения: $n = 4; l = 0; m_l = 0; m_s = +\frac{1}{2}.$ Назовите этот элемент. а) натрий; б) калий; в) барий; г) кальций	Объяснять принципы квантовой механики и характеризовать атомные орбитали с использованием квантовых чисел	Определите, сколько различных волновых функций соответствует главному квантовому числу $n = 3$. Ответ: в квантовой механике каждая волновая функция (ψ) определяется тремя квантовыми числами (n, l, m_l). При $n = 3$ возможные значения $l = 0, 1, 2$. Для каждого l: $m_l = 0$; $m_l = -1, 0, +1$; $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$. Общее число волновых функций — $1 + 3 + 5 = 9$. Если учитывать спиновое квантовое число $m_s = \pm \frac{1}{2}$, можно рассчитать общее число возможных электронных состояний: $9 \cdot 2 = 18$ (по условию спрашивают без его учёта)		

Знать	Тестовые задание	Уметь	Ситуационные задания
	В. Неметалл, активно реагирует с металлами и водородом Г. Щелочноземельный металл, активно реагирует с водой и кислотами Д. Амфотерный элемент 3. Элемент в 3 группе, период 3 4. Элемент в 1 группе, период 5 5. Элемент в 6 группе, период 2 Ответ: А5Б4В2Г1Д3.		сера, период 3, группа 6, неметалл, степень окисления -2, +4, +6; гелий, период 1, группа 8, благородный газ. Радиус атома: гелий < сера < рутений < магний. Электроотрицательность: магний < рутений < сера.
		Решать расчётные задачи на определение числа протонов и нейтронов по заряду ядра элемента; рассчитывать среднюю атомную массу и изотопный состав природной смеси элемента	На основе схематической модели цепочки радиоактивных превращений урана-238 составьте уравнения ядерных реакций с изменениями массового числа и атомного номера: ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} \rightarrow {}_{89}^{230}\text{Ac} \rightarrow {}_{80}^{226}\text{Ra}.$ Укажите виды распадов на каждом этапе превращений. Определите, является ли конечный продукт стабильным изотопом и, при необходимости, укажите, каким будет следующий распад. Ответ: ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + \frac{4}{2}.$ Не α-распад; массовое число (A) = 238 - 4; атомный номер (Z) = 92 - 2.
			${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + e^{-}.$ β-распад; (A) = не изменяется; (Z) = 90 + 1. ${}_{91}^{234}\text{Pa} \rightarrow {}_{91}^{230}\text{Ac} + \frac{4}{2}.$ Не α-распад; (A) = 234 - 4; (Z) = 91 - 2. ${}_{91}^{230}\text{Ac} \rightarrow {}_{89}^{226}\text{Fr} + \frac{4}{2}.$ Не α-распад; (A) = 230 - 4; (Z) = 89 - 1. Конечный продукт в данной цепочке распадов — радий-226. Он не является стабильным изотопом, радиоактивный и продолжает цепочку радиоактивных превращений.

Таким образом, в статье обоснована необходимость применения наглядного моделирования при обучении общей химии. Показано, что внедрение данного метода

положительно влияет на формирование прочных знаний, развитие аналитического мышления и познавательной активности студентов.

Список использованных источников

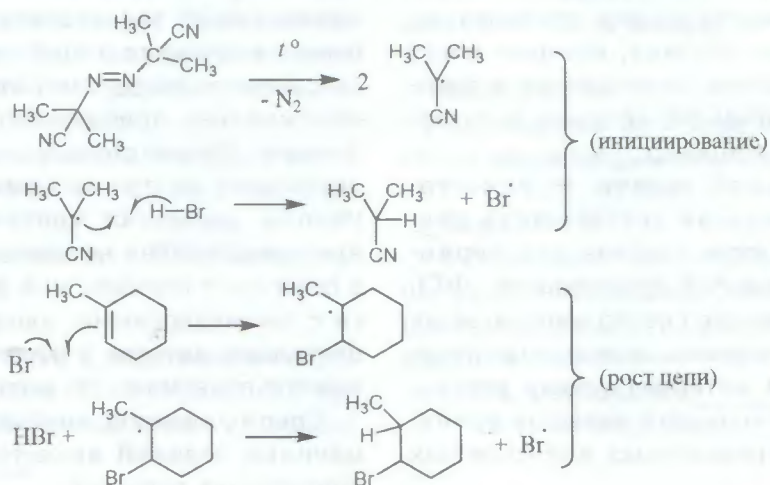
1. Шатова, Е. А. Наглядное моделирование как метод обучения общей химии и диагностики его результатов / Е. А. Шатова, И. С. Борисевич, В. А. Громенко [и др.] // Біялогія і хімія. — 2025. — № 2. — С. 3–13.
2. Шатова, Е. А. Специфика содержания и методов обучения с позиции применения при обучении общей химии наглядного моделирования / Е. А. Шатова, И. С. Борисевич, Е. Я. Аршанский // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. — 2023. — № 2 (119). — С. 49–59.
3. Отвалко, Е. А. Наглядное моделирование как средство обучения химии / Е. А. Отвалко, Е. Я. Аршанский // Химия в школе. — 2021. — № 3. — С. 11–20. — URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/26526> (дата обращения: 15.08.2025).

Статья поступила в редакцию 15.07.2025

Хімія жывога

Азо-бис-изобутиронитрил

В школьном курсе химии рассматривают такие радикальные реакции, как, например, реакция хлорирования алканов или присоединение бромоводорода против правила Марковникова (по Харашу). Эти реакции инициируются светом. В современных методиках для инициирования радикальных процессов часто используют нестойкие молекулы, разлагающиеся с образованием свободных радикалов. Примером такой молекулы является азо-бис-изобутиронитрил (англ. *Azobisisobutyronitrile* — *AIBN*). Это соединение достаточно устойчиво при 0–5 °С, но при более высоких температурах склонно к разложению, что приводит к выделению молекулы азота и образованию свободных радикалов, инициирующих гомолитический разрыв связи в молекуле реагента, например, бромоводорода (в случае реакции Хараша):



Подготовила Н. А. Ильина
(<https://ru.wikipedia.org/wiki/Азобисизобутиронитрил>)