

Секция 4

Науки об образовании

4.1 Теория и методика обучения и воспитания

Научная статья

УДК 372.853

ББК 74.5

ГРНТИ 14.33.09

ВАК 5.8.2.

PACS 01.40.-d

OCIS 000.2060

MSC 00A79

Методика преподавания темы по основам молекулярно-кинетической теории в курсе физики в десятом классе общеобразовательной школы

Е. В. Александрова  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071,
Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 29 сентября 2023 года

После переработки 23 января 2024 года

Опубликована 12 марта 2024 года

Аннотация. Проведён педагогический эксперимент по апробации системы физических задач по теме, связанной с изучением молекулярно-кинетической теории, с элементами многоуровневого контроля знаний по физике. Выполнена статистическая обработка результатов педагогического эксперимента по апробации системы физических задач по теме, связанной с изучением молекулярно-кинетической теории, в старших классах общеобразовательной школы.

Ключевые слова: молекулярная физика, задача, задача по физике, молекулярно-кинетическая теория, масса молекулы, количество вещества, педагогический эксперимент

¹E-mail: e10a1@yandex.ru

Введение

Целью исследования являются разработка и научное обоснование методики использования систем задач по молекулярно-кинетической теории в физике как средства развития школьников по физике, а также рассмотрение методики изучения законов молекулярно-кинетической теории в школе. В связи с поставленной целью была сформулирована задача проведения педагогического эксперимента по апробации системы задач по молекулярно-кинетической теории в физике.

Объектом исследования является процесс обучения физике в старших классах общеобразовательной школы в рамках темы по молекулярно-кинетической теории газов. Предметом исследования является процесс формирования умения решать задачи по физике в рамках темы по молекулярно-кинетической теории газов в курсе физики в старших классах общеобразовательной школы.

Научная новизна работы заключается в применении технологий интенсификации обучения при изучении молекулярно-кинетической теории в курсе физики в старших классах общеобразовательной школы.

Гипотеза исследования заключается в том, что процесс решения систематизированных задач по молекулярно-кинетической теории ориентирован на формирование у учащихся умения использовать законы и уравнения по молекулярно-кинетической теории, и будет более результативным при организации систематического контроля знаний по молекулярно-кинетической теории в курсе физики в старших классах общеобразовательной школы.

В качестве методов исследования применяются методические приёмы и способы решения задач на использование уравнений и законов молекулярно-кинетической теории в курсе физики в общеобразовательной школе.

Обзор

Конструктивистский подход к преподаванию тем по молекулярно-кинетической теории в курсе физики средней школы включает качественные и количественные аспекты молекулярной кинетики и позволяет учащимся развивать способность использовать молекулярные модели в качестве объяснительных инструментов физических явлений в молекулярной физике. В нём также подчеркивается важность объединения макроскопических и субмикроскопических масштабов для улучшения концептуального понимания физических явлений в молекулярной физике. Кроме того, рекомендуется использовать три подхода для описания явлений молекулярной физики, а именно макроскопический, микроскопический и термодинамический, чтобы улучшить понимание учащимися концепций молекулярной физики, включая молекулярно-кинетическую теорию газов.

Статья [1] посвящена пониманию кинетической молекулярной теории газов учащимися десятых классов, изучающими химию. Анализ успеваемости студентов по кинетической молекулярной теории газов был проведен с целью определить степень понимания этих химических концепций в трёх способах представления: макроскопическом, микроскопическом и символическом. В исследовании использовалось однократное квазиэкспериментальное исследование, в ходе которого учащиеся десятого класса средней школы города Себу подвергались воздействию интегрированного макро-микросимволического подхода. В исследовании использовался проверенный инструмент пост-тестирования с макроскопическими, микроскопическими и символическими вопросами. Результаты пост-тестирования показали, что понимание студентами постепенно улучшалось от хорошего понимания макроскопического и микроскопического уровней до очень хорошего понимания символического уровня. Таким образом, был сделан вывод, что использование трех способов химического представления в значительной степени

привело к пониманию концепций химии. Учителям рекомендуется начинать обучение на макроскопическом уровне и вводить символы только после микроскопического уровня.

В работе [2] вводятся уравнение Больцмана, описывающее динамику разбавленного одноатомного газа, уравнение Ванга-Чанга и Уленбека для молекулярного (двухатомного и многоатомного) газа, а также их эвристическое распространение на плотный гранулированный газ вместе с границей раздела газа и поверхности с использованием условий и типичных численных методов в динамике разреженного газа.

Использование эксперимента в качестве методологии преподавания физики в средней школе имеет решающее значение для успешной реализации концепций учителями-предметниками и овладения концепциями учащимися. Тем не менее, в статье [3] описано, что предоставление качественного контента по физике в большинстве школ Кении столкнулось с рядом проблем, таких как неадекватно подготовленные учителя, отсутствие инфраструктуры (например, физической лаборатории, лабораторного оборудования, нехватка лаборантов и т. д.). В статье [3] описано, что в 2014 году в округе Джем (в Кении) 52 % учителей физики не имеют соответствующей подготовки (то есть им не хватает базовой подготовки, чтобы получить квалификацию учителей физики). использование экспериментов при обучении физике в средних школах Кении (на примере школ округа Джем). В частности, исследование преследует следующие цели: во-первых, определить влияние профессиональной квалификации учителя на использование экспериментов в обучении физике; во-вторых, установлено влияние опыта учителя на использование эксперимента в обучении физике и влияние учебной нагрузки на использование эксперимента в обучении физике; и, наконец, установлено влияние подготовки урока на использование эксперимента в обучении физике. В исследовании использовались как описательный опрос, так и подходы к корреляционному дизайну с участием 32 участников. Данные собираются с помощью анкет и интервью. Пилотное исследование проводится в 3 средних школах для проверки надежности инструментов обработки данных (достижение значения коэффициента r Пирсона 80 %). В статье [3] используются как описательные, так и статистические данные, такие как среднее значение, процентные частоты и значения коэффициента r Пирсона, для анализа количественных данных, в то время как качественные данные транскрибируются, организуется и классифицируется по темам и подтемам. Результаты исследования показывают, что опыт преподавания, подготовка учителя, планирование урока и учебная нагрузка влияют на количество и качество экспериментов, проводимых учителями физики.

Уже более столетия химики исследуют скорость химических реакций, используя экспериментальные условия с участием огромного количества молекул. Как следствие, описание кинетики реакции в терминах средних значений оказалось достаточно хорошим для всех практических целей. С педагогической точки зрения такое описание упускает из виду стохастический характер молекулярного поведения. В статье [4] показано, что студенты редко могут связать макроскопическое кинетическое поведение химической реакции с её описанием на молекулярном уровне. Целью статьи [4] является преодоление разрыва между макроскопической и микроскопической интерпретацией кинетических процессов. Это важно не только для понимания недавно разработанной области физической химии одиночных молекул, но и для улучшения понимания студентами случайной природы молекулярного поведения. Мономолекулярные процессы описываются на молекулярном уровне с точки зрения их статистического поведения, а такие понятия, как время жизни реакции, обсуждаются в контексте как ансамблевого, так и молекулярного описания. Далее в статье [4] описываются простые симуляции, которые можно использовать в качестве занятий в классе, чтобы укрепить понимание учащимися того, как знакомый моноэкспоненциальный распад реакции первого поряд-

ка может быть описан с точки зрения большого количества случайных событий на молекулярном уровне.

Кинетические модели газа могут быть трудными для понимания учащимися. Типичные инструменты не отображают события на микроскопическом уровне, однако компьютерному моделированию молекул не хватает практического аспекта. В статье [5] описывается обучающий инструмент, сочетающий в себе сжатие шприца с компьютерным моделированием, и показано, что он хорошо зарекомендовал себя в классе как у учителей, так и у учеников. Этот инструмент призван помочь учащимся старших классов школы понять молекулярную физику.

В статье [6] рассмотрены следствия полной системы уравнений переноса свойств (импульса, энергии и массы) частиц и их пар в условиях локального равновесия с учетом иерархии Боголюбова времен релаксации между первой и второй функциями распределения и различий в характерные времена релаксации импульса, энергии и массы частиц. Установлено, что даже при условии локального равновесия в иерархии времен релаксации Боголюбова между первой и второй функциями распределения сохраняются парные корреляции между всеми динамическими переменными (скоростью, температурой и плотностью), значения которых пропорциональны градиентам переносимых величин. характеристики. Введён критерий, требующий отсутствия условия локального равновесия при достижении критического значения, при котором описание процесса переноса становится некорректным в классической неравновесной термодинамике. Внешние силы учитываются в уравнениях сильно неравновесных процессов. Наряду с учётом межмолекулярных потенциалов появляется возможность обсудить понятие пассивных сил (введенное в термодинамику Гиббсом) с позиций кинетической теории. Показано, что использование этого понятия не отражает современные представления о реальных процессах.

В статье [7] обсуждается метод обучения в классе, помогающий учащимся визуализировать и понять кинетику Михаэлиса-Ментена, использовался в качестве предварительного набора для учителей естественных наук старших и средних школ в рамках партнерской программы по математике и естественным наукам в Иллинойсе. В рамках мероприятия учителям было предложено собрать данные, воспроизведя метод, а также проанализировать и сообщить данные. Все пришли к выводу, что собранные ими данные о скорости были гиперболическими. В рамках плана управляемого исследования учителям было предложено пересмотреть метод и оценить его эффективность как стратегии обучения для разработки конкретных кинетических концепций. После дальнейшего сбора и анализа данных учителя обнаружили, что тенденции их данных на самом деле не были гиперболическими, что привело к внесению нескольких изменений, разработанных учителями, направленных на получение истинного гиперболического результата. В статье [7] описывается процесс исследования, который привёл к этим изменениям, и иллюстрируется их соответствие нескольким ключевым концепциям, таким как кинетика быстрого равновесия. Учебные решения были необходимы в нескольких ключевых моментах, и они обсуждаются.

Статья [8] посвящена использованию методов кинетической теории для изучения проблем эконофизики, в частности неравновесного распределения доходов и богатства. Методы кинетической теории используются для изучения ряда задач эконофизики, основное внимание уделяется неравновесным нестационарным распределениям доходов и богатства. Детерминированный метод для полного уравнения Больцмана использован для решения нестационарной задачи перехода неравновесного распределения к равновесному. Модельное кинетическое уравнение с источником применяется для объяснения устойчивого неравновесного распределения доходов в некоторых странах.

Результаты педагогического эксперимента

Педагогический эксперимент по физике проводился с 10 ноября 2023 года по 17 декабря 2023 года в МАОУ города Ульяновска Физико-математический лицей № 38. В ходе педагогического эксперимента проводились наблюдение и сбор данных педагогического эксперимента в 10 Б классе. Основную часть учащихся составляют подростки в возрасте от 16 до 17 лет. Программа по физике на учебный год рассчитана на изучение школьной программы десятого класса. Занятия по физике в группах проводятся три раза в неделю в виде одного урока. Программа по физике рассчитана на три часа в неделю. В 10 Б классе по социально-гуманитарному направлению обучаются 17 девочек и 14 мальчиков. Уровень группы средний, так как усвоения материала происходит трудно и занимает больше времени, но хорошо закрепляется. Педагогический эксперимент проводился в кабинете физики с лаборантской комнатой. В лаборантской комнате храниться физическое оборудование для проведения лабораторных работ по физике. Кабинет физики оборудован тематическими плакатами по физике. В кабинете физики имеется компьютер типа ноутбук для работы с электронным журналом и электронная доска для показа демонстраций по физике.

Целью педагогического эксперимента является выявление результатов обучения физике по молекулярно-кинетической теории газов в 10 классе. Повышение теоретических знаний у учеников и применение их при решении практических задач по физике на примере тем, связанных с изучением молекулярно-кинетической теории газов в курсе физики в общеобразовательной школе. Подготовка к проведению педагогического эксперимента включала в себя проектирование методики проведения занятий и разработку конспектов уроков по молекулярно-кинетической теории газов.

В процессе изучения физики на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, учащимися 10 Б класса были получены следующие отметки: 3 отметки «отлично», 13 отметок «хорошо», 5 отметок «удовлетворительно», отметок «неудовлетворительно» не было, также 10 человек отсутствовали и были не аттестованы по дисциплине. Абсолютная успеваемость учащихся 10 Б класса по физике на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составила 67.7 %, что соответствует удовлетворительному уровню абсолютной успеваемости. Качественная успеваемость учащихся 10 Б класса на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составила 51.6 %, что соответствует оптимальному уровню качественной успеваемости. Степень обученности учащихся 10 Б класса по физике на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составила 44.6 %, что соответствует удовлетворительному уровню обученности учащихся. Высший уровень требований по физике в 10 Б классе на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составляет 42.3 %. Средний уровень требований по физике в 10 Б классе на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составляет 23.9 %. Низкий уровень требований по физике в 10 Б классе на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составляет 10.8 %. Среднее значение отметок по пятибалльной шкале в классе 10 Б на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, составляет 2.645. Среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического значения в 10 Б классе на втором занятии по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 20.12.2023, составляет 1.721. Экспериментальное значение хи-квадрат по физике в 10 Б классе на втором занятии по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 20.12.2023, составляет 17.871, что больше критического значения, равного 15.08627 для 5 степеней свободы и уровня значимости 0.01. Следовательно, первая

по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, получил отметку «отлично». Учащийся 29 из 10 Б класса на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, отсутствовал и не был аттестован по занятию.

Учащийся 30 из 10 Б класса на первом занятии курса физики по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, получил отметку «неудовлетворительно». Учащийся 30 из 10 Б класса на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, получил отметку «хорошо». Учащийся 30 из 10 Б класса на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, получил отметку «отлично».

Учащийся 31 из 10 Б класса на первом занятии курса физики по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, получил отметку «неудовлетворительно». Учащийся 31 из 10 Б класса на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, получил отметку «удовлетворительно». Учащийся 31 из 10 Б класса на занятии по теме «Идеальный газ в молекулярно-кинетической теории», проведённом 25.12.2023, отсутствовал и не был аттестован по занятию.

В процессе изучения физики на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, учащимися 10 Б класса были получены следующие отметки: 3 отметки «отлично», 11 отметок «хорошо», 5 отметок «удовлетворительно», 1 отметка «неудовлетворительно», также 9 человек отсутствовали и были не аттестованы по дисциплине. Абсолютная успеваемость учащихся 10 Б класса по физике на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составила 67.7 %, что соответствует удовлетворительному уровню абсолютной успеваемости. Качественная успеваемость учащихся 10 Б класса на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составила 45.2 %, что соответствует оптимальному уровню качественной успеваемости. Степень обученности учащихся 10 Б класса по физике на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составила 43.1 %, что соответствует удовлетворительному уровню обученности учащихся. Высший уровень требований по физике в 10 Б классе на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составляет 40.5 %. Средний уровень требований по физике в 10 Б классе на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории» проведённом 13.12.2023, составляет 22.6 %. Низкий уровень требований по физике в 10 Б классе на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составляет 10.1 %. Среднее значение отметок по пятибалльной шкале в классе 10 Б на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составляет 2.645. Среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического значения в 10 Б классе на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составляет 1.451. Экспериментальное значение хи-квадрат по физике в 10 Б классе на первом занятии по теме «Основные положения молекулярно-кинетической теории», проведённом 13.12.2023, составляет 11.097, что меньше критического значения, равного 15.08627 для 5 степеней свободы и уровня значимости 0.01. Следовательно, первая гипотеза выполняется.

В процессе изучения физики на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, учащимися 10 Б

класса были получены следующие отметки: 2 отметки «отлично», 13 отметок «хорошо», 6 отметок «удовлетворительно», 2 отметки «неудовлетворительно», также 8 человек отсутствовали и были не аттестованы по дисциплине. Абсолютная успеваемость учащихся 10 Б класса по физике на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 20.12.2023, составила 67.7%, что соответствует удовлетворительному уровню абсолютной успеваемости. Качественная успеваемость учащихся 10 Б класса на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составила 48.4%, что соответствует оптимальному уровню качественной успеваемости. Степень обученности учащихся 10 Б класса по физике на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составила 43.1%, что соответствует удовлетворительному уровню обученности учащихся. Высший уровень требований по физике в 10 Б классе на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составляет 40.3%. Средний уровень требований по физике в 10 Б классе на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составляет 22.3%. Низкий уровень требований по физике в 10 Б классе на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составляет 9.8%. Среднее значение отметок по пятибалльной шкале в классе 10 Б на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составляет 2.709. Среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического значения в 10 Б классе на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составляет 1.712. Экспериментальное значение хи-квадрат по физике в 10 Б классе на втором занятии с самостоятельной работой по теме «Масса молекул. Количество вещества», проведённом 18.12.2023, составляет 13.677, что меньше критического значения, равного 15.08627 для 5 степеней свободы и уровня значимости 0.01. Следовательно, первая гипотеза выполняется.

Заключение

Представлены результаты педагогического эксперимента по апробации системы физических задач по теме, связанной с изучением молекулярно-кинетической теории, с элементами многоуровневого контроля знаний по физике.

По результатам исследования можно сформулировать вывод о том, что педагогический эксперимент с использованием системы физических задач по молекулярно-кинетической теории газов дал положительный результат и подтвердил эффективность усвоения темы по молекулярно-кинетической теории газов за счёт активизации познавательной активности учащихся.

Гипотеза исследования, заключающаяся в том, что процесс решения систематизированных задач по молекулярно-кинетической теории ориентирован на формирование у учащихся умения использовать законы и уравнения по молекулярно-кинетической теории, и будет более результативным при организации систематического контроля знаний по молекулярно-кинетической теории в курсе физики в старших классах общеобразовательной школы, подтверждена полностью.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке методических рекомендаций для учителей физики, а также при подготовке учебных программ и учебных пособий по молекулярно-кинетической теории газов. Кроме того, полученные данные педагогического эксперимента могут служить основой для разработки новых подходов к преподаванию молекулярно-кинетической теории газов, учитывающих современные требования к качеству образования.

Разработка методики преподавания темы по молекулярно-кинетической теории газов является важным направлением в развитии образовательной системы по физике, поскольку оно способствует повышению качества знаний учащихся, развитию их научного мышления и формированию интереса к изучению физики. Результаты данного исследования могут стать основой для дальнейшего совершенствования методики преподавания молекулярно-кинетической теории газов в общеобразовательных школах.

Список использованных источников

1. Sanchez Joje Mar P. Understanding of kinetic molecular theory of gases in three modes of representation among tenth-grade students in chemistry // *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*. — 2021. — jan. — Vol. 20, no. 1. — P. 48–63. — URL: <http://dx.doi.org/10.26803/IJLTER.20.1.3>.
2. Viehland Larry A. Kinetic theory for molecules // *Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics*. — Springer International Publishing, 2018. — P. 233–253. — ISBN: 9783030044947. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-04494-7_8.
3. Okono Elijah Owuor. Experimental approach as a methodology in teaching physics in secondary schools // *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. — 2015. — jul. — Vol. 5, no. 6. — P. 388–406. — URL: <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/V5-I6/1688>.
4. Levitus Marcia. Chemical kinetics at the single-molecule level // *Journal of Chemical Education*. — 2010. — nov. — Vol. 88, no. 2. — P. 162–166. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/ED100371M>.
5. Imai Izumi, Kamata Masahiro, Miura Naosuke. A teaching tool for molecular kinetics // *Physics Education*. — 2003. — may. — Vol. 38, no. 3. — P. 254–258. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/38/3/309>.
6. Tovbin Yu. K. Molecular kinetic theory of strongly nonequilibrium processes of mass, momentum, and energy transfer: local equilibrium criteria // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. — 2015. — aug. — Vol. 89, no. 9. — P. 1507–1515. — URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S0036024415090344>.
7. A teacher-developed inquiry model to teach the molecular basis of hyperbolic kinetics in biological membrane transport / Leanne Marcus [et al.] // *Advances in Physiology Education*. — 2013. — jun. — Vol. 37, no. 2. — P. 165–175. — URL: <http://dx.doi.org/10.1152/ADVAN.00010.2013>.
8. Aristov V. V. Methods of kinetic theory in problems of econophysics // *AIP Conference Proceedings*. — Vol. 2132. — AIP Publishing, 2019. — P. 190004. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.5119676>.

Сведения об авторах:

Елена Владимировна Александрова — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: el0al@yandex.ru

ORCID iD  0000-0002-0107-3143

Web of Science ResearcherID  AAX-8431-2021

Original article
PACS 01.40.-d
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Methodology for teaching topics on the basics of molecular kinetic theory in a physics course in the tenth grade of a secondary school

E. V. Alexandrova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted September 29, 2023

Resubmitted January 23, 2024

Published March 12, 2024

Abstract. A pedagogical experiment was conducted to test a system of physical problems on a topic related to the study of molecular kinetic theory with elements of multi-level control of knowledge in physics. Statistical processing of the results of a pedagogical experiment was carried out to test a system of physical problems on a topic related to the study of molecular kinetic theory in secondary school.

Keywords: molecular physics, problem, physics problem, molecular kinetic theory, molecular mass, amount of matter, pedagogical experiment

References

1. Sanchez Joje Mar P. Understanding of kinetic molecular theory of gases in three modes of representation among tenth-grade students in chemistry // *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*. — 2021. — jan. — Vol. 20, no. 1. — P. 48–63. — URL: <http://dx.doi.org/10.26803/IJLTER.20.1.3>.
2. Viehland Larry A. *Kinetic theory for molecules* // Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics. — Springer International Publishing, 2018. — P. 233–253. — ISBN: 9783030044947. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-04494-7_8.
3. Okono Elijah Owuor. Experimental approach as a methodology in teaching physics in secondary schools // *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. — 2015. — jul. — Vol. 5, no. 6. — P. 388–406. — URL: <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/V5-I6/1688>.
4. Levitus Marcia. Chemical kinetics at the single-molecule level // *Journal of Chemical Education*. — 2010. — nov. — Vol. 88, no. 2. — P. 162–166. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/ED100371M>.
5. Imai Izumi, Kamata Masahiro, Miura Naosuke. A teaching tool for molecular kinetics // *Physics Education*. — 2003. — may. — Vol. 38, no. 3. — P. 254–258. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/38/3/309>.

6. Tovbin Yu. K. Molecular kinetic theory of strongly nonequilibrium processes of mass, momentum, and energy transfer: local equilibrium criteria // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. — 2015. — aug. — Vol. 89, no. 9. — P. 1507–1515. — URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S0036024415090344>.
7. A teacher-developed inquiry model to teach the molecular basis of hyperbolic kinetics in biological membrane transport / Leanne Marcus [et al.] // *Advances in Physiology Education*. — 2013. — jun. — Vol. 37, no. 2. — P. 165–175. — URL: <http://dx.doi.org/10.1152/ADVAN.00010.2013>.
8. Aristov V. V. Methods of kinetic theory in problems of econophysics // *AIP Conference Proceedings*. — Vol. 2132. — AIP Publishing, 2019. — P. 190004. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.5119676>.

Information about authors:

Elena Vladimirovna Alexandrova — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: el0al@yandex.ru

ORCID iD  0000-0002-0107-3143

Web of Science ResearcherID  AAX-8431-2021