

Эффективность преподавания физики через призму субъективной оценки умственных усилий учащихся

Бранка Радулович, Майя Стоянович

Статья поступила
в редакцию
в декабре 2018 г.

Бранка Радулович

PhD, младший научный сотрудник кафедры физики научного факультета Нови-Садского университета. E-mail: branka.radulovic@df.uns.ac.rs

Майя Стоянович

PhD, профессор кафедры физики научного факультета Нови-Садского университета. E-mail: maja.stojanovic@df.uns.ac.rs

Адрес: Трг Доситея Обрадовича 3, г. Нови Сад, Республика Сербия.

Аннотация. Основная цель исследования — определить, как методика преподавания физики влияет на успеваемость и субъективно воспринимаемую когнитивную нагрузку у учеников средней школы при изучении темы «Механика текучих сред». Сравнивается эффективность трех наиболее распространенных подходов к преподаванию физики в Сербии: обучение с проведением проблемно-лабораторных занятий, обучение с применением интерактивного компьютерного моделирования и традиционный метод обучения. Исследование проводилось в шести классах гимназии с углубленным изучением естественных наук и математики в г. Нови Сад. Выборку состави-

ли 187 учащихся (средний возраст 16 лет). Выявлена связь между методом преподавания, с одной стороны, и успеваемостью школьников и субъективной оценкой умственных усилий, затрачиваемых учащимися, — с другой. Школьники, изучавшие материал на проблемно-лабораторных занятиях и с помощью интерактивного компьютерного моделирования, лучше справились с итоговым тестом и затратили меньше умственных усилий на усвоение материала по сравнению с учащимися, которым преподавали тот же материал традиционным методом. Авторы делают вывод, что эффективность обучения и вовлеченность школьников в учебный процесс при использовании методов проблемно-лабораторных занятий и интерактивного компьютерного моделирования выше, чем при традиционном преподавании.

Ключевые слова: школа, физика, эффективность преподавания, когнитивное усилие, умственная нагрузка, вовлеченность в учебный процесс, интерактивное компьютерное моделирование, проблемное обучение, проблемно-лабораторные занятия.

DOI: 10.17323/1814-9545-2019-3-152-175

Radulović B., Stojanović M. Comparison of Teaching Instruction Efficiency in Physics through the Invested Self-Perceived Mental Effort (пер. с англ. Л. Дянковой).

Данная статья является результатом проекта «The Quality of Education System in Serbia from European Perspective» (№ 179010), выполненного при финансовой поддержке Министерства образования, науки и технологического развития Сербии.

Современная школа переходит от традиционных подходов в обучении к новым методам преподавания [Jackson, Dukerich,

Hestenes, 2008]. Учителя стремятся найти более эффективные способы передачи знаний учащимся, применяя такие методы преподавания, благодаря которым учащиеся, например, будут понимать основные понятия физики, а не просто запоминать их [Stamenkovski, Zajkov, 2014. P. 7]. Поиск новых методов и способов обучения — глобальная проблема: во многих странах возникают инициативы по пересмотру национальных образовательных программ и изменению подходов к преподаванию с целью повышения эффективности усвоения знаний [National Research Council, 2000] (цит. по: [Wang, Jou, 2016. P. 212]).

В настоящем исследовании сравнивается влияние проблемно-лабораторных занятий, интерактивного компьютерного моделирования и традиционных методов обучения на успеваемость, качество усвоения знаний и субъективную оценку затрачиваемых умственных усилий у учащихся старших классов средней школы. Эти три подхода были выбраны, поскольку они широко используются в преподавании физики в Сербии.

При традиционном подходе доминирует фронтальная форма преподавания, и учитель играет в классе центральную роль. Активен на занятии прежде всего преподаватель, а не учащиеся. Слабые места традиционного обучения — недостаточная индивидуализация образования, а также необходимость специальных усилий для поддержания внутренней и внешней мотивации учащихся. В этом формате обучения учащиеся редко получают обратную связь, которая является важным фактором усвоения знаний [Trees, Jackson, 2007]. Во время лекций их внимание быстро рассеивается, и полученная информация легко забывается [Schwerdt, Wuppermann, 2011. P. 366]. Кроме того, этот подход основан на допущении, что все учащиеся усваивают знания в одинаковом темпе [Ibid.]. При такой модели обучения учащиеся пассивны, и процесс развития и получения знаний определяется целями и задачами обучения, а не индивидуальными способностями учащихся. В результате стимулирующая образовательная среда не создается.

Назрела необходимость формирования такого подхода к преподаванию, где центральное место будет отдано учащимся и будут учитываться их индивидуальные особенности, а процесс обучения будет направлен на развитие их способностей. Выработывая такой подход, необходимо контролировать его эффективность и сравнивать ее с эффективностью других подходов в обучении [Drakulić, Miljanović, 2007; Odadžić et al., 2017; Radulović, Stojanović, 2015; Radulović, Stojanović, Županec, 2016; Županec, Miljanović, Pribičević, 2013; Županec et al., 2018].

Применение в обучении проблемно-лабораторных занятий сохраняет положительные черты традиционного формата преподавания и расширяет возможности взаимодействия между учащимися и учителем, усиливая активность учащихся и позво-

ляя постоянно отслеживать их успеваемость. Процесс преподавания становится более понятным и динамичным, повышается мотивация учащихся [Jarrett, Takacs, Ferry, 2010; Vollmer, Möllmann, 2011]. Проблемное обучение на уроках физики подразумевает проведение практических лабораторных занятий, и оно фактически выстраивается на принципах научного познания [Jaakkola, Nurmi, 2008. P. 272]. Организация учебного процесса в этом случае включает ряд этапов: постановка вопроса, формулирование проверяемой гипотезы, подготовка и проведение эксперимента, тщательная проверка и оценка достоверности экспериментальных результатов для достижения нового уровня понимания изучаемой проблемы [de Jong, 2006] (цит. по: [Jaakkola, Nurmi, 2008, P. 272]). Суть такого подхода в обучении состоит в использовании реальных сценариев для усвоения научных знаний и развития практических навыков [Miller, 1998] (цит. по: [Wang, Jou, 2016. P. 212]).

Мультимедийное обучение представляет собой инновационный подход к преподаванию с применением современных технологий. Использование мультимедийных материалов или компьютерного моделирования в качестве когнитивного инструмента помогает улучшить понимание физики учащимися на концептуальном уровне [Bennett, Brennan, 1996; Liu et al., 2017; Mayer, 2001; Mayer et al., 1999; Muller, 2008]. Согласно когнитивной теории мультимедийного обучения процесс усвоения знаний облегчается, когда изучаемый материал представлен как в вербальном, так и в невербальном (графическом) виде. Представляя информацию в разных форматах, можно более эффективно направлять внимание учащихся и стимулировать вовлеченность их в учебный процесс. За счет концентрации внимания и усиления вовлеченности облегчается формирование связей между фрагментами изучаемого материала и структурирование усваиваемой информации [Kostić, 2006]. С появлением методов компьютерного моделирования учащиеся получили возможность изучать разнообразные явления в моделируемой среде без проведения сложных лабораторных экспериментов [de Jong, 2006]. Критики применения моделирования в учебном процессе обосновывают свои позиции тем, что методы получения знаний учащимися отличаются от методов, которые используют ученые в научных лабораториях [Steinberg, 2000], а также тем, что при моделировании сложные процессы могут сильно упрощаться [Crook, 1994] (цит. по: [Jaakkola, Nurmi, 2008. P. 273]).

Для выявления преимуществ того или иного подхода к обучению используются данные об умственных усилиях, т.е. о когнитивной нагрузке учащихся, возникающей при конкретной методике обучения. Когнитивная нагрузка — многомерное понятие, которое определяет общую нагрузку на когнитивную систему учащегося при выполнении определенной задачи [Paas et al.,

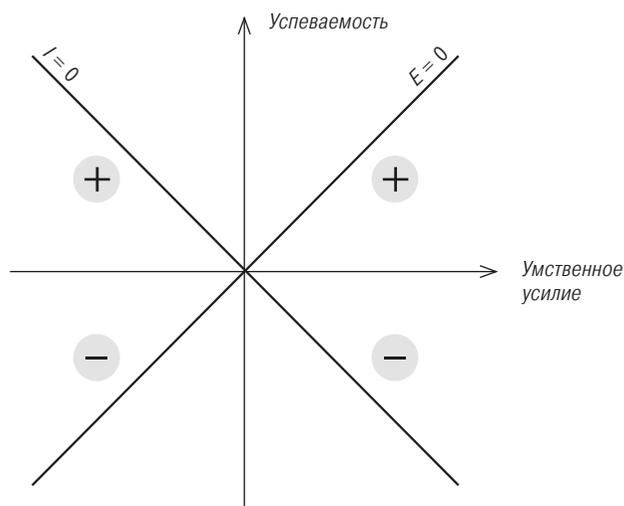
2003. P. 64]. Выделяются три компонента когнитивной нагрузки: внутренний, внешний и релевантный [Carterette, Friedrnan, 1996; de Jong, 2010; Kalyuga, 2008; 2009; Sweller, Ayres, Kalyuga, 2011]. Для оценки того или иного метода обучения необходимо учитывать сумму всех трех компонентов. Если сумма трех компонентов когнитивной нагрузки равна объему рабочей памяти, методика считается оптимальной для обучения [Radulović, Stojanović, 2015]. Если сумма превышает объем рабочей памяти, методика считается неоптимальной для обучения. В таком случае в первую очередь необходимо сократить когнитивную деятельность, вызывающую внешнюю нагрузку. Если этого недостаточно, сокращают когнитивную деятельность, вызывающую релевантную нагрузку.

Поиску способов управления когнитивной нагрузкой посвящено много исследований [Homer, Plass, 2010; Kirschner, 2002; Lee, Plass, Homer, 2006; Plass, Homer, Hayward, 2009; van Merriënboer, Sweller, 2005; Sweller, Chandler, 1994; Sweller, 1994]. В частности, Х. Ли, Я. Пласс и Б. Хомер описывают способ управления внутренней когнитивной нагрузкой через подачу материала в два этапа: в упрощенном виде, а затем в более сложном формате [Lee, Plass, Homer, 2006]. Концепция управления нагрузкой нашла отражение и в настоящем исследовании.

Определить, какой подход к обучению является оптимальным для учащихся, можно на основании расчета эффективности обучения и вовлеченности в учебный процесс для каждого из рассматриваемых подходов. Эффективность обучения и вовлеченность в учебный процесс можно оценить, зная нормализованные значения умственных усилий и успеваемости [Paas, van Merriënboer, 1993; Paas et al., 2005]. Положительные значения эффективности обучения означают, что применяемый подход к преподаванию показал по сравнению с нормализованными значениями более высокие результаты успеваемости при меньших умственных усилиях. Наряду с определением эффективности при исследовании когнитивной нагрузки требуется выяснить, насколько мотивирующими являются условия обучения, и выявить стратегии, которые способствуют удержанию внимания учащихся на изучаемом материале [Paas et al., 2005. P. 27]. Кроме того, задача исследователей заключается в том, чтобы помочь методистам осознать возможности традиционных сред обучения для повышения мотивации учащихся [Ibid.]. На рис. 1 графически представлены показатели измеряемой эффективности обучения и вовлеченности учащихся.

В верхней части графика расположены положительные значения эффективности обучения и вовлеченности в учебный процесс, т.е. здесь представлен случай положительного влияния используемого метода обучения на контролируемые показатели.

Рис. 1. Графическое представление эффективности обучения и вовлеченности в учебный процесс, основанное на нормализованных значениях успеваемости и умственных усилий



Источник: Адаптировано по: [Cerniglia, 2012; Županec et al., 2018].

В предлагаемом исследовании описан новаторский подход к оценке нескольких факторов, с помощью которых можно объяснить различия во влиянии, которое оказывают на процесс обучения различные методы преподавания.

1. Цель исследования

Основная цель данного исследования — определить, как различные подходы к преподаванию физики влияют на успеваемость учащихся средней школы при изучении раздела «Механика текучих сред» и темы «Свойства жидкостей», а также как связана с применяемым подходом к преподаванию субъективная оценка умственных усилий, затрачиваемых учащимися. «Свойства жидкостей» — одна из четырех тем в рамках раздела «Механика текучих сред», изучаемого на втором году обучения в старших классах сербской гимназии, выбранной для этого исследования. Изучение свойств жидкостей предполагает получение знаний не только по физике, но и по химии: например, при определении свойств чистых жидкостей (вязкость, давление пара и т. д.). Важность и сложность этой темы диктуют необходимость поиска наиболее эффективного способа донести знания до учащихся. Кроме того, эта тема включает материал как из естественных, так и из технических наук, так что анализ эффективности разных методов преподавания в ее изучении может внести вклад

в исследование зависимости понимания материала и затрачиваемых умственных усилий от характера изучаемого материала.

В соответствии с целью были сформулированы следующие исследовательские задачи.

1. Определить, существуют ли различия между учащимися экспериментальных групп, в которых использовались проблемно-лабораторные занятия и интерактивное компьютерное моделирование, и учащимися контрольной группы в результатах итогового тестирования.
2. Определить, существуют ли различия между учащимися экспериментальных групп и контрольной группы в субъективной оценке затраченных умственных усилий.
3. Сравнить эффективность обучения и вовлеченность в учебный процесс для каждого из примененных методов обучения.

Исследование проводилось в шести классах гимназии с углубленным изучением естественных наук и математики в г. Нови-Сад, Республика Сербия. Выборка состояла из 187 учащихся. Расчет размера выборки был сделан с помощью приложения *Raosoft*¹. Максимальное число учащихся составляет около 300 человек. С помощью приложения были рассчитаны объемы выборки: для достижения 95%-ной достоверности измерений выборка должна включать 169 человек, а для 99%-ной — 207 человек. Соответственно выборку из 187 человек можно считать оптимальной. В табл. 1 показана структура выборки по полу и группам.

В каждую группу, сформированную на основании метода обучения, вошли два класса, поэтому в группах почти одинаковое число учащихся. Классы для формирования групп выбирались после консультации со школьными учителями физики: они определяли, какой метод обучения будет наиболее эффективным в каждом конкретном классе. Такой подход гарантировал, что учащиеся в экспериментальных группах будут знакомы с предлагаемой им формой подачи учебных материалов по предыдущим темам. Участие в исследовании было добровольным. Все учащиеся были проинформированы о том, что будет проводиться исследование. Учащиеся, которые согласились участвовать в исследовании, должны были присутствовать на всех уроках. Остальные учащиеся также посещали все занятия, но не выполняли итоговые тесты. Чтобы избежать негативизма и сопротивления со стороны учащихся, все они, а также

2. Методология исследования

2.1. Выборка и процедуры

¹ <http://www.raosoft.com/samplesize.html>

Таблица 1. Структура выборки по полу и группам

Пол/Группа	Проблемно-лабораторные занятия	Интерактивное компьютерное моделирование	Традиционное обучение
Юноши	41	30	32
Девушки	22	32	30
Всего	63	62	62

директор и преподаватели физики, были ознакомлены с целью и задачами исследования.

Материал учебной темы «Свойства жидкостей» состоит из трех частей: вязкость жидкостей; закон Ньютона — Стокса; поверхностное натяжение жидкости и капиллярные явления. В течение эксперимента три урока были посвящены усвоению нового материала, два урока были выделены на повторение пройденного материала и два — были отведены предварительному и итоговому тестированию. Задача перед учащимися стояла непростая: при относительно небольшом количестве учебных блоков им предстояло усвоить новый для них материал в рамках учебной программы по физике, соответствующей второму году обучения в старших классах школы. По опыту преподавателей физики учащиеся обычно испытывали сложности с пониманием основных концепций этой темы и взаимосвязи между усваиваемыми понятиями.

После того как учащиеся были разделены на группы, начался методический эксперимент с параллельными группами. Учащимся в контрольной группе материал преподавали традиционным способом: с использованием доски и мела в качестве учебных инструментов и при строгом соблюдении учебного плана, утвержденного Министерством образования. В этой группе преподавал штатный учитель школы, следуя указаниям соавтора настоящего исследования, который преподавал в других группах. Один из авторов исследования присутствовал на всех занятиях, чтобы отвечать вопросы, которые могли возникнуть у учеников.

В первой экспериментальной группе учащиеся работали с учебным оборудованием для проведения проблемно-лабораторных занятий в рамках выбранной методики. Учащиеся были разделены на группы по четыре человека. Каждая группа получала задание от преподавателя, и в часы занятий учащиеся самостоятельно проводили эксперименты. После проведения эксперимента учащиеся записывали свои выводы в тетради. Каждая группа выполняла одно и то же задание на измерение, но с разными веществами. Например, для измерения коэффи-

циента вязкости использовались следующие жидкости: вода, масло, глицерин и спирт. Студенты измеряли время свободного падения шарика в вязкой среде между двумя точками и на основании полученных данных определяли коэффициент вязкости. Полученные результаты измерений, различающиеся в зависимости от плотности жидкости, выносились на обсуждение после проведения лабораторных занятий. В ходе таких обсуждений учащиеся самостоятельно приходили к выводам, как изменяется коэффициент вязкости в зависимости от плотности и температуры жидкостей. При изучении поверхностного натяжения учащиеся сравнивали значение коэффициента поверхностного натяжения при разных диаметрах емкости. Одним из заданий было положить скрепку на поверхность воды и наблюдать, что произойдет, если в воду добавить жидкое мыло. После обсуждения учащиеся самостоятельно делали выводы о причинных связях между физическими явлениями.

Учащиеся второй экспериментальной группы изучали тему с применением средств моделирования и мультимедийных материалов. Учащимся показывали видеоролики и анимированные модели из интернета, иллюстрирующие различные физические явления. Ученики смотрели запись полного эксперимента, демонстрирующего, как свойства жидкости могут изменяться в зависимости от коэффициента вязкости и коэффициента поверхностного натяжения. Сначала был показан учебный фильм, в котором определялся коэффициент вязкости для одной жидкости. Затем был показан другой фильм, в котором этот же эксперимент проводился уже с двумя параллельными цилиндрами с разными жидкостями. Таким образом, учащиеся могли сделать вывод о зависимости между плотностью жидкости и коэффициентом вязкости. Такой сценарий был выполнен для каждого учебного блока. После каждого занятия учащиеся обсуждали корреляции между физическими явлениями, которые имели место в просмотренных ими видеороликах. Во время просмотра видеоматериалов преподаватель выступал в роли комментатора, а после просмотра координировал обсуждения. Все учебные блоки в экспериментальных группах были проведены одним из авторов настоящей статьи. Это позволило отслеживать развитие методического эксперимента и минимизировать влияние индивидуальной манеры ведения уроков разных преподавателей на результаты исследования.

Для регистрации результатов настоящего исследования был разработан инструментарий в виде предварительных и итоговых тестов. Затраченные умственные усилия учащиеся оценивали по шкале Ликерта. В начале исследования для фиксации имеющегося уровня знаний учащихся было проведено предварительное тестирование по предыдущей теме — «Динамика

2.2. Инструментарий

жидкостей». В рамках этой темы изучают уравнение непрерывности и закон Бернулли. Этот материал помогает в понимании явления вязкости, которое рассматривается в рамках темы «Свойства жидкостей». Предварительный тест состоял из 20 вопросов с множественным выбором ответа. За каждое правильно выполненное задание в предварительном тесте давался один балл. Таким образом, за этот тест максимально можно было получить 20 баллов.

После прохождения всех учебных блоков по теме учащимся был предложен итоговый тест с заданиями по теме «Свойства жидкостей». Он состоял из 20 заданий с множественным выбором. За каждое правильно выполненное задание учащийся получал один балл. Таким образом, за этот тест максимально также можно было набрать 20 баллов. После каждого задания итогового текста учащимся предлагалось оценить трудность задания, т. е. умственное усилие, затраченное на его выполнение, по шкале Ликерта — от 1 (очень легко) до 5 (очень сложно).

В рамках этого исследования для определения умственных усилий использовался метод субъективной оценки (самооценки), который относится к группе эмпирических косвенных измерений. Учащиеся самостоятельно оценивают, какое умственное усилие они затратили, пользуясь заданной шкалой [de Jong, 2010]. У шкалы может быть разный масштаб; для этого исследования был выбран масштаб от 1 до 5, поскольку он совпадает со шкалой оценок начальной и средней школы в Сербии — от 1 (неудовлетворительно) до 5 (отлично).

Предварительный и итоговый тесты были проведены во всех группах одновременно. Задания, которые были разработаны для предварительного и итогового тестирования, были проверены и одобрены тремя университетскими преподавателями, специализирующимися на соответствующих темах по физике, и тремя учителями средней школы. Среди заданий итогового тестирования не было вопросов про проведенные эксперименты. Примеры заданий приведены в приложении 1. Использованный инструментарий имеет удовлетворительные психометрические характеристики. Коэффициент альфа Кронбаха α (коэффициент надежности) для предварительного теста составил 0,936, для итогового теста — 0,975, а для оценки затраченного умственного усилия — 0,867. Эти значения выше 0,7, т. е. все оценки имеют приемлемую внутреннюю согласованность. Исследование проводилось в г. Нови Сад в феврале 2012 г.

2.3. Анализ данных Чтобы определить, как использованный метод обучения повлиял на успеваемость учащихся и субъективную оценку умственного усилия, были применены следующие виды анализа: дисперсионный анализ (ANOVA), ретроспективный анализ (тест Шеффе) и анализ тесноты связи данных. Для дисперсионного анализа

Таблица 2. **Результаты учащихся в предварительном тестировании**

Группа	Медиана	Стандартное отклонение	Разброс	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Традиционное обучение	10,90	3,08	14,0	-3,571	2,915
Проблемно-лабораторные занятия	10,49	3,09	12,0	-0,765	-1,194
Интерактивное компьютерное моделирование	10,90	2,48	10,0	-1,237	-0,303

Таблица 3. **Результаты учащихся в итоговом тестировании**

Группа	Медиана	Стандартное отклонение	Разброс	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Традиционное обучение	11,06	2,64	11,0	0,731	-0,676
Проблемно-лабораторные занятия	13,29	2,85	12,0	-0,380	-0,887
Интерактивное компьютерное моделирование	13,02	2,12	10,0	-0,105	-0,682

было рассчитано значение η^2 (эта-квадрат), а для анализа тесноты связи данных — критерий χ^2 (хи-квадрат) и V -коэффициент Крамера (V Крамера). Все расчеты были произведены в SPSS20 и Excel.

Результаты предварительного тестирования учащихся приведены в табл. 2. Анализ с помощью ANOVA показал, что на этапе предварительного тестирования между группами не было значимых различий: $F(df=2, N=184) = 0,42, p = 0,66$.

Результаты итогового тестирования (табл. 3) значительно различаются в разных группах: $F(df=2, N=184) = 14,89; p = 0,001, \eta^2 = 0,14$.

Значение η^2 свидетельствует о значимом влиянии примененного подхода к преподаванию на результаты учащихся в итоговом тесте. Чтобы уточнить характер различий между группами, был применен анализ по критерию Шеффе. Результаты ретроспективного анализа (по критерию Шеффе) показали, что средний балл итогового тестирования в группе тра-

3. Результаты исследования

Таблица 4. Субъективная оценка умственных усилий

Группа	Умственное усилие		Разброс	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	χ^2	p	V
	Медиана	Стандартное отклонение						
Традиционное обучение	3,52	0,78	3,8	-0,499	0,959	11,422	0,179	0,247
Проблемно-лабораторные занятия	3,22	0,46	2,5	-0,183	0,547			
Интерактивное компьютерное моделирование	3,43	0,55	2,8	0,650	0,837			

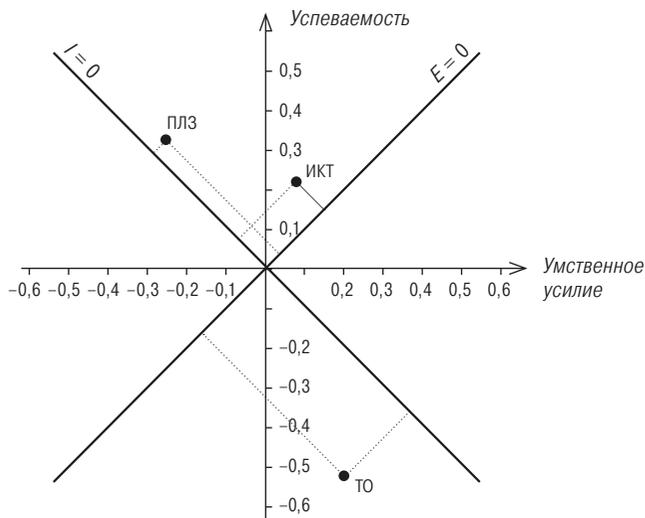
диционного обучения (медиана = 11,06, стандартное отклонение = 2,64) и в группах проблемно-лабораторных занятий ($p=0,000$) и интерактивного компьютерного моделирования ($p=0,000$) значительно различается в пользу экспериментальных групп. Средний балл в группе проблемно-лабораторных занятий (медиана = 13,29, стандартное отклонение = 2,85) значительно отличается от среднего балла группы традиционного обучения ($p=0,000$), но не обнаруживает значимого отличия от среднего балла группы интерактивного компьютерного моделирования ($p=0,826$). Сравнение пар выборок по t -критерию позволило оценить влияние каждого метода обучения на результаты учащихся в итоговом тесте. В экспериментальных группах результаты оказались выше, чем в группе традиционного обучения.

Анализ данных итогового теста по критерию χ^2 не показал статистически значимого расхождения в успеваемости между юношами и девушками: $\chi^2(df=2, N=184) = 3,014, p=0,222, V=0,127$. Тем не менее результаты итогового тестирования у юношей выше (медиана = 12,70, стандартное отклонение = 2,72), чем у девушек (медиана = 12,12, стандартное отклонение = 2,74).

В табл. 4 приведена статистика субъективной оценки затраченного умственного усилия при использовании разных методов преподавания. Анализ с помощью ANOVA показал статистически значимые различия в субъективно оцениваемом умственном усилии в трех исследуемых группах: $F(2, 184) = 3,592; p=0,029, \eta^2=0,04$. Значение η^2 указывает на незначительное или средней силы влияние применяемого подхода к преподаванию на субъективную оценку умственных усилий, затрачиваемых учащимися.

Анализ по критерию Шеффе показал, что среднее значение субъективно оцениваемого умственного усилия в группе тра-

Рис. 2. Зависимость показателей эффективности обучения и вовлеченности в учебный процесс от применяемого подхода к преподаванию



диционного обучения (медиана = 3,51, стандартное отклонение = 0,78) и в группе проблемно-лабораторных занятий (медиана = 3,22, стандартное отклонение = 0,46) значительно различаются ($p=0,000$). С другой стороны, среднее значение субъективно оцениваемого умственного усилия в группе интерактивного компьютерного моделирования (медиана = 3,43, стандартное отклонение = 0,55) не обнаруживает значимых различий с показателем группы традиционного обучения ($p=0,227$), но сильно расходится с показателем группы проблемно-лабораторных занятий ($p=0,000$). Таким образом, учащиеся из группы проблемно-лабораторных занятий затратили меньше усилий, чем школьники двух других групп. Значение V -коэффициента Крамера свидетельствует о том, что применяемый подход к обучению оказывает на субъективную оценку затрачиваемых умственных усилий умеренное влияние.

Статистически значимого различия в показателях субъективно оцениваемого умственного усилия между юношами и девушками не выявлено: $\chi^2(df=4, N=185) = 6,179, p=0,186, V=0,183$. Тем не менее юноши оценивают уровень умственного усилия ниже (медиана = 3,38, стандартное отклонение = 0,65), чем девушки (медиана = 3,40, стандартное отклонение = 0,59).

На рис. 2 приведены графики зависимости показателей эффективности обучения и вовлеченности в учебный процесс от применяемого подхода к преподаванию.

На основании полученных нормализованных данных об успеваемости и субъективно оцениваемом умственном усилии эффективность обучения можно представить в графическом виде. Эффективность обучения при использовании традиционного метода обучения $E_{\text{ТО}} = -0,52$, а вовлеченность в учебный процесс $I_{\text{ТО}} = -0,23$. Для экспериментальной группы проблемно-лабораторного обучения эффективность обучения $E_{\text{ПЛЗ}} = 0,40$, вовлеченность в учебный процесс $I_{\text{ПЛЗ}} = 0,04$. Для экспериментальной группы интерактивного компьютерного моделирования $E_{\text{ИКТ}} = 0,10$, $I_{\text{ИКТ}} = 0,20$.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что проблемно-лабораторные занятия и интерактивное компьютерное моделирование более эффективны, чем традиционный подход к преподаванию. Экспериментальные подходы также более приемлемы для студентов, поскольку снижают уровень затрачиваемого умственного усилия и повышают успеваемость.

4. Дискуссионные вопросы

В проведенном исследовании изучается влияние на успеваемость учащихся и субъективно оцениваемое умственное усилие трех разных способов преподавания физики: обучения с проведением проблемно-лабораторных занятий, обучения с применением интерактивного компьютерного моделирования и традиционного метода обучения. В результате методического эксперимента удалось получить существенные данные, которые планируется представить на рассмотрение преподавателей школ.

Во-первых, выявлено влияние применяемых методов обучения на успеваемость учащихся. Результаты исследования показывают, что при обучении с применением проблемно-лабораторных занятий и интерактивного компьютерного моделирования учащиеся показывают более высокий балл в итоговом тестировании, чем учащиеся, усваивающие материал в рамках традиционного подхода. Следовательно, методы преподавания с активным вовлечением учащихся в учебный процесс положительно влияют на успеваемость. Аналогичные результаты были получены в ходе другого эксперимента, проведенного в 2016 г. [Radulović, Stojanović, Županec, 2016]. Эти результаты, на наш взгляд, объясняются тем, что в использованных подходах нашли отражение принципы научного познания и достижения научно-технического прогресса. В основе научного познания (в частности, физического) лежит эксперимент. При применении эксперимента в образовательном процессе учащиеся имеют возможность наглядно представить себе изучаемую тему. Практические эксперименты считают важной составляющей в преподавании предметов естественнонаучного цикла, особенно физики, многие исследователи [Abrahams, Millar, 2008; Johnstone, Al-Shuaili, 2001; Zacharia, 2003].

Моделирование признано эффективным инструментом обучения, так как с его помощью обеспечиваются условия для получения наглядного опыта, необходимого для понимания абстрактных концепций в физике [Zacharia, Anderson, 2003]. Другие исследователи отмечают важную роль практических экспериментов и мультимедийных средств, например смартфонов, которые могут использоваться для экспериментальных задач в сочетании с компьютерами [Kuhn, Vogt, 2013; Stamenkovski, Zajkov, 2014; Zajkov, Mitrevski, 2012]. Использование компьютерных методов дает возможность учащимся получить более полное представление о некоторых явлениях без необходимости проводить сложные эксперименты [Ajredini, Zajkov, Mahmudi, 2012]. При работе со средствами моделирования учащиеся не тратят время на подготовку практических лабораторных занятий [Ajredini, Zajkov, Mahmudi, 2012], а могут посвятить его анализу и обсуждению изучаемого материала [Ajredini, Izairi, Zajkov, 2014]. Согласно некоторым исследованиям [Ajredini, Izairi, Zajkov, 2014; Stamenkovski, Zajkov, 2014] знания, приобретаемые при проведении лабораторных занятий и средствами компьютерного моделирования, сопоставимы по качеству и глубине. Такие же данные получены и в настоящем исследовании. Ретроспективный анализ (по критерию Шеффе) не показал существенного различия между успеваемостью учащихся в группах интерактивного компьютерного моделирования и проблемно-лабораторных занятий. Ограничения настоящего исследования обусловлены небольшой численностью участников эксперимента; более надежные статистические данные можно будет получить, повторив эксперимент на более представительной выборке школьников.

Во-вторых, проанализировано влияние применяемых методов обучения на субъективно оцениваемые умственные усилия. Учащиеся из группы, в которой проводились проблемно-лабораторные занятия, оценили объем затрачиваемых умственных усилий ниже, чем в других группах. Школьники из группы интерактивного компьютерного моделирования оценили объем затрачиваемых умственных усилий ниже, чем в контрольной группе. Согласно когнитивной теории мультимедийного обучения процесс усвоения знаний облегчается, когда материал представлен как в вербальном, так и в невербальном (графическом) виде [Mayer, 2001]. Получение информации в разных форматах способствует усвоению знаний за счет более эффективного сосредоточения внимания учащихся и стимулирования вовлеченности в учебный процесс. При этом облегчается формирование связного представления и структурирование усваиваемой информации. Результаты данного исследования согласуются с результатами [McKagan et al., 2008]. Учащиеся имеют возможность самостоятельно формировать собственное представ-

ление о явлениях, начиная с моделирования простых условий, а затем постепенно переходя к более сложным случаям. При таком подходе к обучению когнитивная нагрузка будет ниже, чем при проблемно-лабораторных занятиях.

В-третьих, проведено сравнение эффективности обучения и вовлеченности в учебный процесс в зависимости от применяемых методов преподавания. Показатели эффективности обучения и вовлеченности можно рассчитать, зная нормализованное значение успеваемости учащихся и субъективной оценки затрачиваемых умственных усилий. Установлено, что показатели эффективности обучения и вовлеченности в процесс обучения при традиционном преподавании ниже, чем в обеих экспериментальных группах. Самые высокие показатели эффективности обучения достигнуты с применением проблемно-лабораторных занятий. При этом подходе к организации обучения создается стимулирующая образовательная среда, обеспечивающая высокую успеваемость учащихся с сохранением невысокой когнитивной нагрузки. С точки зрения мотивации учащихся предпочтителен метод интерактивного компьютерного моделирования: при его применении получены самые высокие показатели вовлеченности в учебный процесс. До недавнего времени в фокусе теории когнитивной нагрузки находилась проблема соотношения методов преподавания с закономерностями протекания когнитивных процессов, а роль мотивации при обучении не учитывалась [Paas et al., 2005]. Однако при исследовании когнитивной нагрузки требуется определить, насколько мотивирующими являются условия обучения, и выявить стратегии, которые способствуют удержанию внимания учащихся на изучаемом материале. По словам авторов, интерактивное компьютерное моделирование является оптимальным методом обучения с точки зрения учащихся, поскольку требует меньше умственных усилий, чем традиционный подход, при этом обеспечивает более высокую успеваемость и мотивирует учащихся, в результате чего повышается их вовлеченность в учебный процесс.

В дальнейшем мы планируем исследовать возможности внедрения проблемно-лабораторных занятий и интерактивного компьютерного моделирования в преподавание других разделов физики в рамках школьной программы начальных, средних и старших классов, взяв более крупную выборку для участия в эксперименте и продлив срок эксперимента как минимум на целый семестр.

5. Выводы Учащиеся, обучавшиеся с применением проблемно-лабораторных занятий и интерактивного компьютерного моделирования, показали более высокие результаты в итоговом тестировании, а также субъективно оценили затраченные умственные усилия

ниже, чем школьники, обучавшиеся в рамках традиционной методики преподавания. Знания, полученные с использованием только традиционного подхода к преподаванию, очень важны для формирования основы кругозора, однако такой способ обучения приводит к утрате учащимися активной роли в образовательном процессе. Если учащиеся активно участвуют в учебном процессе, они проявляют больше интереса к изучаемому предмету и сильнее концентрируются на учебном материале во время занятий. Эффективность обучения и вовлеченность в учебный процесс при использовании проблемно-лабораторных занятий и интерактивного компьютерного моделирования выше, чем при традиционном преподавании. Кроме того, эти методы обучения создают оптимальные условия для усвоения знаний учащимися, поскольку требуют меньше умственных усилий и способствуют более высокой успеваемости по сравнению с традиционным методом преподавания. Самые высокие показатели вовлеченности в учебный процесс достигнуты при обучении с помощью интерактивного компьютерного моделирования.

1. Abrahams I., Millar R. (2008) Does Practical Work Really Work? A Study of the Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science // *International Journal of Science Education*. Vol. 30. No 14. P. 1945–1969.
2. Ajredini F., Izairi N., Zajkov O. (2014) Real Experiments Versus PhET Simulations for Better High-School Students' Understanding of Electrostatic Charging // *European Journal of Physics Education*. Vol. 5. No 1. P. 59–70.
3. Ajredini F., Zajkov O., Mahmudi N. (2012) Case Study on the Influence of Simulations and Real Experiments on Higher Order Skills // *Macedonian Physics Teacher*. No 48. P. 29–34.
4. Bennett S. J., Brennan M. J. (1996) Interactive Multimedia Learning in Physics // *Australian Journal of Educational Technology*. Vol. 12. No 1. P. 8–17.
5. Carterette E., Friedrnan M. (1996) Perceptual and Cognitive Development // R. Gelman, T. Au (eds) *Handbook of Perception and Cognition*. San Diego; London: Academic Press. P. 283–329.
6. Cerniglia A. J. (2012) *Instructional Efficiency and Learner Involvement* (PhD thesis). <http://andrewcerniglia.com/?p=411#comments>
7. Crook C. (1994) *Computers and the Collaborative Experience of Learning*. London: Routledge.
8. Drakulić V., Miljanović T. (2007) Efikasnost Laboratorijsko-Eksperimentalne Metode u Realizaciji Sadržaja Biologije u Gimnaziji // *Pedagogija*. No 4. P. 627–632.
9. Homer B. D., Plass J. L. (2010) Expertise Reversal for Iconic Representations in Science Visualizations // *Instructional Science*. Vol. 38. No 3. P. 259–276. doi: 10.1007/s11251-009-9108-7.
10. Jaakkola T., Nurmi S. (2008) Fostering Elementary School Students' Understanding of Simple Electricity by Combining Simulation and Laboratory Activities // *Journal of Computer Assisted Learning*. Vol. 24. No 4. P. 271–283. doi: 10.1111/j.1365–2729.2007.00259.x.
11. Jackson J., Dukerich L., Hestenes D. (2008) Modeling Instruction: An Effective Model for Science Education // *Science Educator*. Vol. 17. No 1. P. 10–17.

Литература

12. Jarrett L., Takacs G., Ferry B. (2010) Adding Value to Physics Laboratories for Preservice Teachers // *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*. Vol. 18. No 1. P. 26–42.
13. Johnstone A. H., Al-Shuaili A. (2001) Learning in the Laboratory: Some Thoughts from the Literature // *University Chemistry Education*. Vol. 5. No 2. P. 42–51.
14. Jong T. de (2006) Computer Simulations: Technological Advances in Inquiry Learning // *Science*. Vol. 312. P. 532–533.
15. Jong T. de (2010) Cognitive Load Theory, Educational Research, and Instructional Design: Some Food for Thought // *Instructional Science*. Vol. 38. No 2. P. 105–134. doi: 10.1007/s11251-009-9110-0.
16. Kalyuga S. (2008) *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning*. New York: Hershey.
17. Kalyuga S. (2009) *Cognitive Load Factors in Instructional Design for Advanced Learners*. New York: Nova Science.
18. Kant J. M., Scheiter K., Oschatz K. (2017) How to Sequence Video Modeling Examples and Inquiry Tasks to Foster Scientific Reasoning // *Learning and Instruction*. Vol. 52. P. 46–58. doi: 10.1016/j.learninstruc.2017.04.005.
19. Kirschner P. A. (2002) Cognitive Load Theory: Implications of Cognitive Load Theory on the Design of Learning // *Learning and Instruction*. Vol. 12. P. 1–10. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00014-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00014-7)
20. Kostić A. (2006) *Kognitivna Psihologija [Cognitive Psychology]*. Belgrade: Educational institution and remedies.
21. Kuhn J., Vogt P. (2013) Smartphones as Experimental Tools: Different Methods to Determine the Gravitational Acceleration in Classroom Physics by Using Everyday Devices // *European Journal of Physics Education*. Vol. 4. No 1. P. 47–58.
22. Lee H., Plass J. L., Homer B. D. (2006) Optimizing Cognitive Load for Learning from Computer-Based Science Simulations // *Journal of Educational Psychology*. Vol. 98. No 4. P. 902–913.
23. Liu C. Y., Wu C. J., Wong W. K., Lien Y. W., Chao T. K. (2017) Scientific Modeling with Mobile Devices in High School Physics Labs // *Computers & Education*. Vol. 105. P. 44–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.11.004>
24. Mayer R. E. (2001) *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University.
25. Mayer R. E., Moreno R., Boire M., Vagge S. (1999) Maximizing Constructivist Learning from Multimedia Communications by Minimizing Cognitive Load // *Journal of Educational Psychology*. Vol. 91. No 4. P. 638–643.
26. McKagan S. B., Perkins K. K., Dubson M. et al. (2008) *Developing and Researching PhET Simulations for Teaching Quantum Mechanics*. <http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/papers/QMsims.pdf>
27. Merriënboer J. J. G. van, Sweller J. (2005) Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions // *Educational Psychology Review*. Vol. 17. No 2. P. 147–177. doi: 10.1007/s10648-005-3951-0.
28. Miller J. D. (1998) The Measurement of Civic Scientific // *Public Understanding of Science*. No 7. P. 203–223.
29. Muller D. A. (2008) *Designing Effective Multimedia for Physics Education (PhD Thesis)*. Sydney: University of Sydney. <http://www.physics.usyd.edu.au/super/theses/PhD%28Muller%29.pdf>
30. National Research Council (2000) *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
31. Odadžić V., Miljanović T., Mandić D., Pribičević T., Županec V. (2017) Effectiveness of the Use of Educational Software in Teaching Biology // *Croatian Journal of Education*. Vol. 19. No 1. P. 11–43.

32. Paas F., Merriënboer J. van (1993) The Efficiency of Instructional Conditions: An Approach to Combine Mental Effort and Performance Measures // *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. Vol. 35. No 4. P. 737–743.
33. Paas F., Tuovinen J. E., Merriënboer J. J. van, Darabi A. A. (2005) A Motivational Perspective on the Relation between Mental Effort and Performance: Optimizing Learner Involvement in Instruction // *Educational Technology Research and Development*. Vol. 53. No 3. P. 25–34. <https://doi.org/10.1007/BF02504795>
34. Paas F., Tuovinen J. E., Tabbers H., Gerven P. W. van (2003) Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory // *Educational Psychologist*. Vol. 38. No 1. P. 63–71. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8
35. Plass J. L., Homer B. D., Hayward E. O. (2009) Design Factors for Educationally Effective Animations and Simulations // *Journal of Computing in Higher Education*. Vol. 21. No 1. P. 31–61. doi: 10.1007/s12528-009-9011-x.
36. Radulović B., Stojanović M. (2015) Determination Instructions Efficiency of Teaching Methods in Teaching Physics in the Case of Teaching Unit «Viscosity. Newtonian and Stokes Law» // *Acta Didactica Napocensia*. Vol. 8. No 2. P. 61–68.
37. Radulović B., Stojanović M., Županec V. (2016) The Effects of Laboratory Inquire-Based Experiments and Computer Simulations on High School Students' Performance and Cognitive Load in Physics Teaching // *Zbornik Instituta za Pedagoška Istraživanja*. Vol. 48. No 2. P. 264–283. doi: 10.2298/ZIP11602264R.
38. Schwerdt G., Wuppermann A. C. (2011) Is Traditional Teaching Really All that Bad? A Within-Student Between-Subject Approach // *Economics of Education Review*. Vol. 30. No 2. P. 365–379. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2010.11.005>
39. Stamenkovski S., Zajkov O. (2014) Seventh Grade students' Qualitative Understanding of the Concept of Mass Influenced by Real Experiments and Virtual Experiments // *European Journal of Physics Education*. Vol. 5. No 2. P. 6–16.
40. Steinberg R. N. (2000) Computers in Teaching Science: To Simulate or Not to Simulate? // *American Journal of Physics*. Vol. 68. No S1. P. S37–S41.
41. Sweller J. (1994) Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design // *Learning and Instruction*. Vol. 4. P. 295–312. [http://dx.doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](http://dx.doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
42. Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. (2011) *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.
43. Sweller J., Chandler P. (1994) Why Some Material Is Difficult to Learn // *Cognition and Instruction*. No 12. P. 185–233.
44. Trees A. R., Jackson M. H. (2007) The Learning Environment in Clicker Classrooms: Student Processes of Learning and Involvement in Large University-Level Courses Using Student Response Systems // *Learning, Media and Technology*. Vol. 32. No 1. P. 21–40. doi: 10.1080/17439880601141179.
45. Vollmer M., Möllmann K. P. (2011) Low Cost Hands-On Experiments for Physics Teaching // *Latin-American Journal of Physics Education*. Vol. 6. Suppl. I. P. 3–9.
46. Wang J., Jou M. (2016) Qualitative Investigation on the Views of Inquiry Teaching Based upon the Cloud Learning Environment of High School Physics Teachers from Beijing, Taipei, and Chicago // *Computers in Human Behavior*. Vol. 60. July. P. 212–222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.003>

47. Zacharia Z. (2003) Beliefs, Attitudes, and Intentions of Science Teachers Regarding the Educational Use of Computer Simulations and Inquiry-Based Experiments in Physics // Journal of Research in Science Teaching. Vol. 40. No 8. P. 792–823.
48. Zacharia Z., Anderson O. R. (2003) The Effects of an Interactive Computer-Based Simulation Prior to Performing a Laboratory Inquiry-Based Experiment on Students' Conceptual Understanding of Physics // American Journal of Physics. Vol. 71. No 6. P. 618–629. doi: 10.1119/1.1566427.
49. Zajkov O., Mitrevski B. (2012) Video Measurements: Quantity or Quality // European Journal of Physics Education. Vol. 3. No 4. P. 34–43.
50. Županec V., Miljanović T., Pribičević T. (2013) Effectiveness of Computer Assisted Learning in Biology Teaching in Primary Schools in Serbia // Journal of the Institute for Educational Research. Vol. 45. No 2. P. 422–444.
51. Županec V., Radulović B., Pribičević T., Miljanović T., Zdravković V. (2018) Determination of Educational Efficiency and Students' Involvement in the Flipped Biology Classroom in Primary School // Journal of Baltic Science Education. Vol. 17. No 1. P. 162–176.

Приложение 1
Примеры заданий
для итогового
тестирования

После каждого вопроса оцените (по шкале от 1 до 5), насколько сложной вам показалась задача: 1 — очень легко; 2 — легко; 3 — не сложно и не легко; 4 — сложно; 5 — очень сложно.

1. Вязкость является следствием:
 - A) силы притяжения между молекулами в одном слое
 - B) силы отталкивания между молекулами в одном слое
 - C) движения жидкости
 - D) ничего из перечисленного
2. Что такое сила адгезии?
 - A) Сила притяжения между одинаковыми молекулами
 - B) Сила притяжения между разными молекулами
 - C) Сила отталкивания между одинаковыми молекулами
 - D) Сила отталкивания между разными молекулами
4. Почему трудно разъединить две смоченные водой стеклянные пластинки?
 - A) Из-за поверхностного натяжения
 - B) Из-за вязкости
 - C) Из-за капиллярной силы
 - D) Из-за плотности
6. Почему молекулы на поверхности жидкости обладают дополнительной потенциальной энергией?
 - A) Поскольку результирующие силы между молекулами равны нулю
 - B) Поскольку результирующие силы между молекулами не равны нулю
 - C) Из-за большей силы вязкого трения
 - D) Из-за более высокой скорости движения молекул

8. Если бросить камень в озеро, в какое время года он быстрее утонет: зимой, когда температура воды ниже, или летом, когда вода теплее?
- A) Зимой
B) Летом
C) Температура не влияет на скорость движения камня в воде
D) Ни зимой, ни летом
10. Почему капли масла на поверхности горячего супа имеют круглую форму?
- A) Из-за поверхностного натяжения
B) Из-за вязкости
C) Из-за капиллярной силы
D) Из-за плотности
13. Может ли вода проходить через крупное сито, не оставляя капель?
- A) Капли останутся из-за когезии
B) Капли останутся из-за адгезии
C) Капли не останутся из-за агрегатного состояния
D) Капли не останутся из-за плотности
14. Какое выражение верно для расчета высоты, на которую жидкость опускается/поднимается в пробирке, погруженной в контейнер?
- A) $h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}$ C) $h = \frac{\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}$
B) $h = \frac{4\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}$ D) $h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g}$
15. Латунный шарик диаметром 0,5 мм падает в жидкость плотностью $\rho_0 = 1,26 \text{ г/см}^3$ с постоянной скоростью 6,7 мм/с. Определите коэффициент вязкости жидкости. Плотность латуни: $\rho = 8,55 \text{ г/см}^3$.
- A) $\eta = 0,15 \text{ Па}\cdot\text{с}$ C) $\eta = 0,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$
B) $\eta = 0,8 \text{ Па}\cdot\text{с}$ D) $\eta = 0,3 \text{ Па}\cdot\text{с}$
17. Каково ускорение шарика, падающего в жидкости с вязкостью 0,65 Па·с? Диаметр шарика — 1 мм, плотность шарика — 1000 кг/м^3 , плотность жидкости — 680 кг/м^3 .
- A) $u = 8,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ C) $u = 8,4 \text{ м/с}$
B) $u = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ D) $u = 3 \text{ м/с}$

Comparison of Teaching Instruction Efficiency in Physics through the Invested Self-Perceived Mental Effort

Authors **Branka Radulović**

PhD, Scientific Associate, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics. E-mail: branka.radulovic@df.uns.ac.rs

Maja Stojanović

PhD, Full Professor, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics. E-mail: maja.stojanovic@df.uns.ac.rs

Address: Trg Dositeja Obradovića Sq. 3, Novi Sad, Republic of Serbia.

Abstract The main goal of the research is to determine how certain teaching instruction methods affect the achievement and mental efforts of high school students needed for learning Fluid Mechanics topic in Physics. Determining mental effort or cognitive load as a wider concept helps obtain important data, which can be used to identify teaching instruction methods, which result in higher performance and motivation. This research is aimed to examine the efficiency of three approaches to teaching physics, which are most common in the Republic of Serbia. These are: an approach based on the use of laboratory inquiry-based experiments (LIBE), an approach based on the use of interactive computer-based simulation (ICBS) and a traditional teaching approach (TA). The article describes an experimental study conducted with two experimental and one control groups. The research was conducted on a sample of six high school classes in a gymnasium with advanced study in Natural Science and Mathematics in Novi Sad, Republic of Serbia. The total sample count was 187 students (mean age 16 years). The main conclusions of the research are that there is a causal link between the teaching instruction method applied and the achievement, or the self-perceived mental effort, of a student. Students, who were learning the teaching content through LIBE or ICS approach, have achieved better results in the knowledge test and estimated their mental effort to be lower compared to the students, who were learning the same content through traditional teaching approach applied. The research also showed, that LIBE or ICBS teaching approaches achieve higher levels of instructional efficiency and instructional involvement compared to the traditional teaching approach.

Keywords mental effort, instructional efficiency, instructional involvement, interactive computer-based simulation, laboratory inquiry-based experiments, Physics.

- References**
- Abrahams I., Millar R. (2008) Does Practical Work Really Work? A Study of the Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*, vol. 30, no 14, pp. 1945–1969.
 - Ajredini F., Izairi N., Zajkov O. (2014) Real Experiments Versus PhET Simulations for Better High-School Students' Understanding of Electrostatic Charging. *European Journal of Physics Education*, vol. 5, no 1, pp. 59–70.
 - Ajredini F., Zajkov O., Mahmudi N. (2012) Case Study on the Influence of Simulations and Real Experiments on Higher Order Skills. *Macedonian Physics Teacher*, no 48, pp. 29–34.
 - Bennett S. J., Brennan M. J. (1996) Interactive Multimedia Learning in Physics. *Australian Journal of Educational Technology*, vol. 12, no 1, pp. 8–17.

- Carterette E., Friedrnan M. (1996) Perceptual and Cognitive Development. *Handbook of Perception and Cognition* (eds R. Gelman, T. Au), San Diego; London: Academic Press, pp. 283–329.
- Cerniglia A. J. (2012) *Instructional Efficiency and Learner Involvement* (PhD thesis). Available at: <http://andrewcerniglia.com/?p=411#comments> (accessed 10 July 2019).
- Crook C. (1994) *Computers and the Collaborative Experience of Learning*. London: Routledge.
- Drakulić V., Miljanović T. (2007) Efikasnost Laboratorijsko-Eksperimentalne Metode u Realizaciji Sadržaja Biologije u Gimnaziji. *Pedagogija*, no 4, pp. 627–632.
- Homer B. D., Plass J. L. (2010) Expertise Reversal for Iconic Representations in Science Visualizations. *Instructional Science*, vol. 38, no 3, pp. 259–276. doi: 10.1007/s11251-009-9108-7.
- Jaakkola T., Nurmi S. (2008) Fostering Elementary School Students' Understanding of Simple Electricity by Combining Simulation and Laboratory Activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 24, no 4, pp. 271–283. doi: 10.1111/j.1365-2729.2007.00259.x.
- Jackson J., Dukerich L., Hestenes D. (2008) Modeling Instruction: An Effective Model for Science Education. *Science Educator*, vol. 17, no 1, pp. 10–17.
- Jarrett L., Takacs G., Ferry B. (2010) Adding Value to Physics Laboratories for Preservice Teachers. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, vol. 18, no 1, pp. 26–42.
- Johnstone A. H., Al-Shuaili A. (2001) Learning in the Laboratory: Some Thoughts from the Literature. *University Chemistry Education*, vol. 5, no 2, pp. 42–51.
- Jong T. de (2006) Computer Simulations: Technological Advances in Inquiry Learning. *Science*, vol. 312, pp. 532–533.
- Jong T. de (2010) Cognitive Load Theory, Educational Research, and Instructional Design: Some Food for Thought. *Instructional Science*, vol. 38, no 2, pp. 105–134. doi: 10.1007/s11251-009-9110-0.
- Kalyuga S. (2008) *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning*. New York: Hershey.
- Kalyuga S. (2009) *Cognitive Load Factors in Instructional Design for Advanced Learners*. New York: Nova Science.
- Kant J. M., Scheiter K., Oschatz K. (2017) How to Sequence Video Modeling Examples and Inquiry Tasks to Foster Scientific Reasoning. *Learning and Instruction*, vol. 52, pp. 46–58. doi: 10.1016/j.learninstruc.2017.04.005.
- Kirschner P. A. (2002) Cognitive Load Theory: Implications of Cognitive Load Theory on the Design of Learning. *Learning and Instruction*, vol. 12, pp. 1–10. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00014-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00014-7) (accessed 10 July 2019).
- Kostić A. (2006) *Kognitivna Psihologija* [Cognitive Psychology]. Belgrade: Educational institution and remedies.
- Kuhn J., Vogt P. (2013) Smartphones as Experimental Tools: Different Methods to Determine the Gravitational Acceleration in Classroom Physics by Using Everyday Devices. *European Journal of Physics Education*, vol. 4, no 1, pp. 47–58.
- Lee H., Plass J. L., Homer B. D. (2006) Optimizing Cognitive Load for Learning from Computer-Based Science Simulations. *Journal of Educational Psychology*, vol. 98, no 4, pp. 902–913.
- Liu C. Y., Wu C. J., Wong W. K., Lien Y. W., Chao T. K. (2017) Scientific Modeling with Mobile Devices in High School Physics Labs. *Computers & Education*, vol. 105, pp. 44–56. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.11.004> (accessed 10 July 2019).
- Mayer R. E. (2001) *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University.

- Mayer R. E., Moreno R., Boire M., Vagge S. (1999) Maximizing Constructivist Learning from Multimedia Communications by Minimizing Cognitive Load. *Journal of Educational Psychology*, vol. 91, no 4, pp. 638–643.
- McKagan S. B., Perkins K. K., Dubson M. et al. (2008) *Developing and Re-searching PhET Simulations for Teaching Quantum Mechanics*. Available at: <http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/papers/QMsims.pdf> (accessed 10 July 2019).
- Merriënboer J. J. G. van, Sweller J. (2005) Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, vol. 17, no 2, pp. 147–177. doi: 10.1007/s10648-005-3951-0.
- Miller J. D. (1998) The Measurement of Civic Scientific. *Public Understanding of Science*, no 7, pp. 203–223.
- Muller D. A. (2008) *Designing Effective Multimedia for Physics Education* (PhD Thesis). Sydney: University of Sydney. Available at: <http://www.physics.usyd.edu.au/super/theses/PhD%28Muller%29.pdf> (accessed 10 July 2019).
- National Research Council (2000) *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Odadžić V., Miljanović T., Mandić D., Pribičević T., Županec V. (2017) Effectiveness of the Use of Educational Software in Teaching Biology. *Croatian Journal of Education*, vol. 19, no 1, pp. 11–43.
- Paas F., Merriënboer J. van (1993) The Efficiency of Instructional Conditions: An Approach to Combine Mental Effort and Performance Measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 35, no 4, pp. 737–743.
- Paas F., Tuovinen J. E., Merriënboer J. J. van, Darabi A. A. (2005) A Motivational Perspective on the Relation between Mental Effort and Performance: Optimizing Learner Involvement in Instruction. *Educational Technology Research and Development*, vol. 53, no 3, pp. 25–34. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02504795> (accessed 10 July 2019).
- Paas F., Tuovinen J. E., Tabbers H., Gerven P. W. van (2003) Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, vol. 38, no 1, pp. 63–71. Available at: https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8 (accessed 10 July 2019).
- Plass J. L., Homer B. D., Hayward E. O. (2009) Design Factors for Educationally Effective Animations and Simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, vol. 21, no 1, pp. 31–61. doi: 10.1007/s12528-009-9011-x.
- Radulović B., Stojanović M. (2015) Determination Instructions Efficiency of Teaching Methods in Teaching Physics in the Case of Teaching Unit “Viscosity. Newtonian and Stokes Law”. *Acta Didactica Napocensia*, vol. 8, no 2, pp. 61–68.
- Radulović B., Stojanović M., Županec V. (2016) The Effects of Laboratory Inquire-Based Experiments and Computer Simulations on High School Students’ Performance and Cognitive Load in Physics Teaching. *Zbornik Instituta za Pedagoška Istraživanja*, vol. 48, no 2, pp. 264–283. doi: 10.2298/ZIPI1602264R.
- Schwerdt G., Wuppermann A. C. (2011) Is Traditional Teaching Really All that Bad? A Within-Student Between-Subject Approach. *Economics of Education Review*, vol. 30, no 2, pp. 365–379. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2010.11.005> (accessed 10 July 2019).
- Stamenkovski S., Zajkov O. (2014) Seventh Grade students’ Qualitative Understanding of the Concept of Mass Influenced by Real Experiments and Virtual Experiments. *European Journal of Physics Education*, vol. 5, no 2, pp. 6–16.
- Steinberg R. N. (2000) Computers in Teaching Science: To Simulate or Not to Simulate? *American Journal of Physics*, vol. 68, no S1, pp. S37–S41.

- Sweller J. (1994) Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, vol. 4, pp 295–312. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](http://dx.doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5) (accessed 10 July 2019).
- Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. (2011) *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.
- Sweller J., Chandler P. (1994) Why Some Material Is Difficult to Learn. *Cognition and Instruction*, no 12, pp. 185–233.
- Trees A. R., Jackson M. H. (2007) The Learning Environment in Clicker Classrooms: Student Processes of Learning and Involvement in Large University-Level Courses Using Student Response Systems. *Learning, Media and Technology*, vol. 32, no 1, pp. 21–40. doi: 10.1080/17439880601141179.
- Vollmer M., Möllmann K. P. (2011) Low Cost Hands-On Experiments for Physics Teaching. *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 6, suppl. 1, pp. 3–9.
- Wang J., Jou M. (2016) Qualitative Investigation on the Views of Inquiry Teaching Based upon the Cloud Learning Environment of High School Physics Teachers from Beijing, Taipei, and Chicago. *Computers in Human Behavior*, vol. 60, July, pp. 212–222. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.003> (accessed 10 July 2019).
- Zacharia Z. (2003) Beliefs, Attitudes, and Intentions of Science Teachers Regarding the Educational Use of Computer Simulations and Inquiry-Based Experiments in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 40, no 8, pp. 792–823.
- Zacharia Z., Anderson O. R. (2003) The Effects of an Interactive Computer-Based Simulation Prior to Performing a Laboratory Inquiry-Based Experiment on Students' Conceptual Understanding of Physics. *American Journal of Physics*, vol. 71, no 6, pp. 618–629. doi: 10.1119/1.1566427.
- Zajkov O., Mitrevski B. (2012) Video Measurements: Quantity or Quality. *European Journal of Physics Education*, vol. 3, no 4, pp. 34–43.
- Županec V., Miljanović T., Pribičević T. (2013) Effectiveness of Computer Assisted Learning in Biology Teaching in Primary Schools in Serbia. *Journal of the Institute for Educational Research*, vol. 45, no 2, pp. 422–444.
- Županec V., Radulović B., Pribičević T., Miljanović T., Zdravković V. (2018) Determination of Educational Efficiency and Students' Involvement in the Flipped Biology Classroom in Primary School. *Journal of Baltic Science Education*, vol. 17, no 1, pp. 162–176.