

## ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ОБУЧЕНИИ ХИМИИ

**Батаева Е.В.<sup>1</sup>, Дёмин В.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Дальневосточный Федеральный Университет  
<sup>2</sup>Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

Всё более широкое распространение цифровых технологий даёт методам обучения новый импульс развития. Однако для эффективно-го использования современных технологий обучения надо ясно понимать их возможности и ограничения. Ниже представлена попытка описания современного состояния обучения химии с применением виртуальных лабораторий (VR-лабораторий), рассмотрены достоинства и недостатки этой технологии.

### **Что такое VR?**

Виртуальная реальность (virtual reality, VR, искусственная реальность) – это искусственный мир, созданный техническими средствами и передаваемый человеку через его ощущения. С другой стороны, под VR понимают и совокупность технологий, погружающих пользователя в виртуальное пространство.

Виртуальная реальность не просто имитирует какое-то пространство. VR интерактивна, то есть реагирует на воздействие со стороны пользователя, причём отклик происходит в реальном времени.

Современная VR-система включает в себя несколько компонентов. Основными компонентами являются очки или шлем виртуальной реальности, а также специальные датчики – «маяки». Как правило,

управление VR-шлемом или очками производит специальная реализуемая на компьютере программа. Однако в настоящее время ведётся разработка автономных шлемов, для которых нет необходимости использовать компьютер для работы с программой VR.

Первая система виртуальной реальности появилась в 1962 г., когда Мортон Хейлиг [1] представил первый прототип мультисенсорного симулятора, который он называл «Sensorama» (рис.1). Эта система погружала зрителя в виртуальную реальность при помощи коротких фильмов, которые сопровождались запахами, ветром (при помощи фена) и шумом мегаполиса с аудиозаписи. Первые решения были либо довольно громоздкими, дорогими и неудобными в эксплуатации, либо предельно низкого качества. Поэтому на раннем этапе своего развития VR-технологии использовались редко и в основном для узкоспециализированных задач.

Aug. 28, 1962

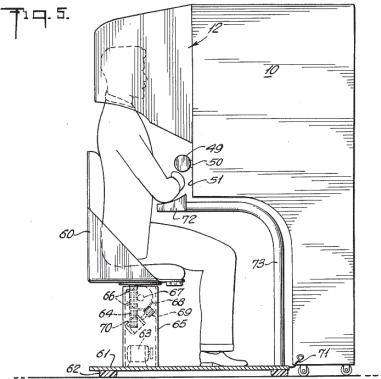
M. L. HEILIG  
SENSORAMA SIMULATOR

3,050,870

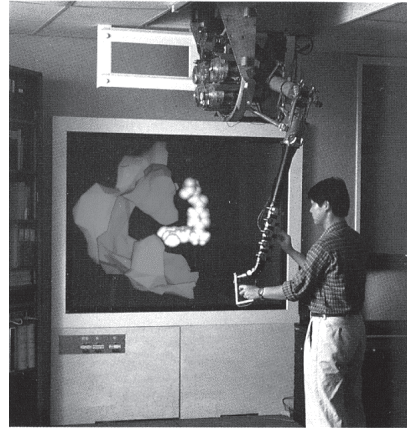
Filed Jan. 10, 1961

8 Sheets-Sheet 3

T. I. S.



а)



б)

Рис. 1. Схема симулятора «Сенсорاما» (а), 1961 г. [1],  
б) использование тактильного дисплея GROPE III (б), 1988 г. [3]

Однако разработки продолжались (рис. 2). Видеосъемку заменила графика, а с увеличением мощности и уменьшением размера

процессоров на смену громоздким конструкциям стали приходить очки и шлемы (рис. 2).

Бурный рост отрасли начался в 2014—2015 гг. Появились недорогие очки [5] и гарнитуры [6, 7] виртуальной реальности, которые работали в связке со смартфонами (мобильная VR), были также выпущены шлемы виртуальной реальности [8, 9], работающие в связке с компьютером (стационарная VR).

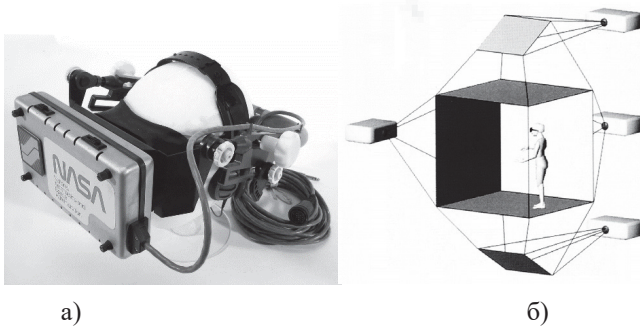


Рис. 2. Прототип шлема виртуальной реальности (а), разработан НАСА [2], 1985 год. Принципиальный интерфейс виртуальной реальности CAVE (б), 1992 год [4]

Оба решения не идеальны: мобильная VR часто даёт ощущение укачивания<sup>1</sup> из-за задержек обновления «картинки» и существенно ограничивает свободу перемещения и управления, а стационарная VR громоздкая и дорогая. Тем не менее, появление этих устройств стимулировало начало массовой разработки прототипов учебных VR-приложений. В данный момент на рынок выходит новое поколение автономных шлемов [12, 13], которые не требуют подключения к компьютеру и использования внешних «маяков». Это значительно

<sup>1</sup>Риски использования VR-очков, как и риски использования других гаджетов, довольно широко обсуждаются (например, [10]). Эффект укачивания возникает в первую очередь из-за низкой частоты обновления кадров, размытости изображения и задержек при повороте головы, а также при некорректно моделируемом перемещении, когда происходит конфликт визуальной информации (видно, что происходит движение) и информации от вестибулярного аппарата (человек реально никуда не двигается). Подробнее об эффекте укачивания, а также возможностях его использования можно посмотреть, например, работу [11].

снижает стоимость одного рабочего места, упрощает эксплуатацию и хранение VR-систем [14].

### **Зачем нужна VR в химии?**

«Химия – наука экспериментальная». Мы привыкли к этой мысли. Она очевидна и не нуждается в доказательствах. Но химический эксперимент – сложная и дорогая часть обучения химии. «Большинство школ не имеют нужного объёма ресурсов для поддержания лабораторий (оборудования, реактивов) и проведения школьниками достаточного числа экспериментов» – эту точку зрения высказывают не только в России [15]. Именно необходимость компенсировать недостаток лабораторной практики служит движущей силой разработки различных технологий, призванных заменить школьную лабораторию.

В настоящей статье мы будем обсуждать именно «виртуальную лабораторию» и те возможности для обучения химии, которые она предоставляет. С точки зрения авторов статьи, виртуальная химическая лаборатория должна быть не заменой реальной лаборатории, а её продолжением и дополнением.

Прежде всего, VR-технология позволяет сконструировать «виртуальную лабораторию», в которой не будет существующих в реальности ограничений. Виртуальная лаборатория позволяет провести эксперименты, требующие опасных или дорогих реактивов и оборудования, сократить время выполнения рутинных операций, выдвигая на первый план существенные и «убирая в тень» несущественные на данном этапе моменты эксперимента. Например, после проведения многостадийного синтеза ученик имеет возможность поместить продукт в анализатор и получить анализ содержимого в виде списка веществ или ионов.

В виртуальной лаборатории ученики могут отходить от предполагаемого хода лабораторной работы, имеют возможность самостоятельно выбрать путь решения экспериментальной задачи и увидеть результат своего выбора. Они даже могут нарушить технику безопасности и при этом не только посмотреть на возможные последствия

своих действий без ущерба здоровью или оборудованию, но и сделать соответствующие выводы. И если в реальной лаборатории какие-то ошибочные действия (или нарушение ТБ) могут остаться незамеченными учителем (и, следовательно, не будут отражены учеником), то VR-система может непрерывно контролировать и комментировать процесс выполнения эксперимента.

Виртуальная лаборатория даёт возможность многократного повторения экспериментов (в том числе, без участия преподавателя) без расходования реактивов, без затрат времени и сил на подготовку и уборку. Для проведения эксперимента не нужна специально оборудованная лаборатория, с развитием технологий появляется возможность проведения эксперимента в любом месте, в том числе дистанционно.

Но это идеальная картина. К сожалению, возможности современной техники ограничены, поэтому существующие виртуальные лаборатории не решают тех задач, которые разработчики и методисты хотели бы на них возложить.

Один из важных недостатков виртуальных лабораторий – схематизация реальности, обусловленная современными техническими возможностями. Это и упрощённый визуальный ряд, на который в первую очередь обращает внимание пользователь, и упрощённая модель взаимодействий веществ и физических процессов. Насколько упрощена физическая или химическая модель, можно понять только при довольно глубоком знакомстве с конкретной VR-лабораторией. Но технологии развиваются, оборудование дешевеет, увеличивается быстроедействие процессоров, поэтому те возможности, которые сейчас реализуются в малой степени или только в некоторых VR-лабораториях, через какое-то время станут доступными.

### **Кому нужна VR?**

Во-первых, школьникам или студентам, для которых курс химии является образовательным курсом «без продолжения»<sup>2</sup>. При его

---

<sup>2</sup>Например, общеобразовательный курс химии для будущих географов или политологов или курс физической химии для будущих фармацевтов.

изучении можно получить представление о химическом эксперименте и решить несколько экспериментальных задач.

Очевидно, что применяя VR, пользователь не отработывает лабораторные навыки и умения. Но в химическом эксперименте есть важная общеобразовательная составляющая – формирование умений планировать свою работу, наблюдать, делать выводы. Эти общеучебные умения VR-лаборатория вполне способна развивать при соответствующей организации работы.

Многие современные ученики мало и плохо работают руками, предпочитая компьютерные тренажёры и игры. Возможность «пролить и не вытирать», предоставленная виртуальной лабораторией, их очень радует. Именно из-за сложностей, возникающих при выполнении реального эксперимента, у школьников часто складывается негативное отношение к химии как учебной дисциплине, поэтому позитивные впечатления от работы чрезвычайно важны.

Во-вторых, есть школьники, которым для выработки устойчивого навыка необходимо большое число повторений, т.е. тренировка. На наш взгляд, современные школьники не любят и не могут «заучивать», а тренировка в формате компьютерной игры позволит им это сделать, не затрачивая много сил.

В-третьих, виртуальные лаборатории предоставляют возможность выполнить химический эксперимент тем, для кого в силу физических особенностей он недоступен, например, из-за инвалидности.

Виртуальная реальность – это технология, реализующая отклик *online*, поэтому можно «подстроить» лабораторию под потребности конкретного обучаемого и его физические особенности. (Пока не осуществлено, но, на наш взгляд, это вопрос времени).

Может сложиться впечатление, что VR не предназначена для тех, кто реально увлечён химией (физикой, биологией). Но это не так. VR предоставляет возможность поставить опасный эксперимент, который разумный школьник (и его преподаватель) не будет выполнять в школьной лаборатории. Перед проведением реального эксперимента сначала следует провести виртуальный эксперимент подготовитель-

ного характера, а затем повторить его в реальности. Это аналогично тренировкам для пожарных, операторов буровых платформ и т.п. Действительно, бóльшая часть созданных сейчас VR-симуляторов предназначена для приобретения производственного опыта в тех областях, в которых это дорого или небезопасно (например, из-за риска для окружающей среды) – в ядерной энергетике, на нефтяных платформах, при пожаротушении [16].

### **Каковы особенности работы учителя в VR? Чем различаются виртуальные лаборатории?**

VR-лаборатории значительно различаются по функциональным возможностям. Это позволяет учителю выбрать ту VR-лабораторию, которая наиболее соответствует его целям. Дадим краткую характеристику нескольким существующим VR-лабораториям, которые используются при обучении химии.

Школьная химическая лаборатория Chemistry Lab VR [17] основана на довольно примитивной физической и химической модели. Она даёт возможность выполнить некоторые химические эксперименты, взвесить реактивы, провести некоторые физические опыты, например, вскипятить воду.

Химическая лаборатория Super Chem VR [18] реализована в «космическом» дизайне. В лабораторных столах есть ящики, которые можно открыть, в них содержится оборудование, которое можно взять и использовать, что делает пространство более интерактивным. В лаборатории имеется анализатор, который позволяет провести анализ состава вещества. Но вместо банок с реагентами – дозатор с кнопками выбора реагента, что отличает эту VR-лабораторию от привычной «реальной». «Космический» дизайн оправдывает некоторые удивительные особенности физической модели, например, не всегда есть сила тяжести. Стакан взлетает вверх, как в невесомости, но потом разбивается об пол. Однако при этом его можно поставить на весы и определить массу, объём жидкости можно измерить цилиндром. Новое

воплощение этой же VR-лаборатории – Holo Lab [19] – обладает немного другими дизайном и возможностями.

На наш взгляд, VR не должна отличаться от реальной лаборатории принципами работы (так, законы физики должны работать). Однако не все идеи удаётся реализовать, используя имеющиеся сегодня доступные технологии.

VR Chemistry Lab [20] – виртуальная химическая лаборатория для школьников, основанная на модели, максимально приближенной к действительности. По внешнему виду и функционалу она близка к реальной лаборатории, но в то же время обладает функционалом, специфичным для VR-лаборатории. Пример специфичного объекта – «аналитический куб» – виртуальный анализатор, который определяет состав раствора без проведения анализов непосредственно экспериментатором. В ходе работы объект можно поместить в «аналитический куб» и получить состав вещества или смеси веществ в удобном виде (иногда с пояснениями в виде уравнений реакций). Другой пример специфического для VR-функционала – привычные для игрового дизайна «сортировочные зоны», дающие возможность решать задачи на сортировку объектов или отнесение их к определённым классам (например, задание «предскажите среду выданных растворов, поместив колбы с растворами в соответствующие зоны»).

Для VR-лабораторий доступны многие возможности игрового дизайна, например, подсветки активного объекта и т.п., что применяется многими разработчиками.

При использовании VR в обучении химии с методической точки зрения важно не потерять существенные для развития школьника общеучебные умения. Например, одна из особенностей VR Chemistry Lab [20] – наличие не только системы подсказок, но и лабораторного журнала, что даёт ученику возможность фиксировать свои наблюдения и выводы, а учителю – проверить их.

Стоит отметить, что многие доступные в настоящее время виртуальные лаборатории позволяют проводить непривычно много для российской школы количественных экспериментов. Это, в частности,



обусловлено тем, что в англоязычных учебниках химии (не Science) количественным аспектам уделяется больше внимания, чем в российских.

Виртуальные химические лаборатории создаются не только для школьников, но и для студентов вузов (например, [21]) и поддержки STEM<sup>3</sup> [22].

Можно выделить группу виртуальных лабораторий, в которых использованы возможности виртуального мира для взаимодействия пользователя с микроуровнем – «молекулярное моделирование». Например, EduChem VR [23] позволяет моделировать сложные молекулярные структуры. Создатели лаборатории NanoLab [24] исходят из спорной, по нашему мнению, идеи «механосинтеза» – образования или разрушения химических связей через прямое управление атомами или молекулами. Позиционируя свой проект как «не воспроизводящий традиционное школьное обучение, а создающий новую модель обучения современной химии», авторы выдвигают сомнительное утверждение: «Дело в том, что нужно не изучать свойства молекул, нужно не исследовать цепочки случайно происходящих реакций, нужно именно разбираться в том, какой стороной какую молекулу можно прикрепить к другой (упрощённо говоря). Для этого нужна инженерная интуиция. Это можно сделать только через интерактив. Поэтому идеально иметь живую модель, на которую можно воздействовать» [25]. Создатели лаборатории NanoLab воплощают эту идею через модель взаимодействия с виртуальными шариками-атомами.

Идея перехода на микроуровень довольно популярна и реализована различным образом в разных VR-лабораториях. Например, лаборатории Chemistry VR [26] и Tablecraft [27] позволяют изучать атомы элементов, MEL Chemistry VR [28] – моделировать молекулы и их строение. Очевидно, что для лучшего понимания химии нужна визуализация и представление о том, как изменяются молекулы в ходе реакции. Отсюда делается предположение, что возможность «подержать

---

<sup>3</sup>. STEM – система междисциплинарного обучения, S–science, T–technology, E–engineering, и M–mathematics (естественные науки, технология, инженерное дело, математика), широко использующая проектные методы.

модель в руках» позволит лучше разобраться в сущности химических процессов [16].

У описанного выше подхода есть ожидаемый минус: происходит «смешение» восприятия макро- и микроуровня, то есть «смешение» наших модельных представлений о строении вещества и свойств реальных объектов. Этот эффект достаточно широко описан в работах по методике преподавания химии, но на других примерах. Замечено, что чем хуже сформировано понятие моделирования и понимание его ограниченности, тем сильнее проявляется этот эффект.

Многие современные ученики имеют небольшой опыт химической лабораторной практики и в целом небольшой практический опыт. К тому же, невысокий (как правило) уровень абстрактного мышления создаёт опасность формирования у них формальных представлений о химических процессах, не опирающихся на реальность. Так, например, от школьников часто можно услышать: «Чтобы получить кислоту из альдегида, надо добавить O в молекулу». Формально это так, но как добавить? Каким реагентом воздействовать? С точки зрения формально мыслящего школьника, вопросы странные – зачем реагент? Просто кислород добавить<sup>4</sup>. Опасность формализации химических знаний трудно переоценить, и этой проблеме обучения химии посвящено много исследований. Сейчас не ясно, в каком направлении будет происходить развитие виртуальных лабораторий, но, на наш взгляд, вопрос соотношения реального и модельного – один из важнейших аспектов методики обучения в VR. Это далеко не единственный методический вопрос, который пока не решён и, очевидно, он будет по-разному решаться в различных виртуальных лабораториях.

Хорошей иллюстрацией различия методических подходов может служить отношение к аккуратности при выполнении химического эксперимента и технике безопасности. Если мы не ставим целью подготовить школьника к работе в реальной лаборатории, то для нас не

---

<sup>4</sup>С точки зрения обученного школьника (а тем более практикующего химика) такой вопрос даже не должен существовать – очевидно же, что надо использовать окислитель, а не «вводить атом в молекулу». К сожалению, всё чаще в работах школьников и устных беседах авторы видят отражение именно формального подхода.

принципиальны различия в «механике взаимодействия» пользователя и оборудования. Пользователя такой виртуальной лаборатории не беспокоит проблема неаккуратной работы (и, возможно, радует отсутствие необходимости убирать пролитое и просыпанное). Однако если речь идёт о подготовке к работе в реальной лаборатории, то встаёт вопрос об усвоении правил техники безопасности. Например, в некоторых VR-лабораториях нельзя приступить к выполнению эксперимента, не надев защитные очки, перчатки или халат<sup>5</sup>. На наш взгляд, сейчас нет однозначного ответа на вопрос о том, каким образом в VR должна решаться проблема техники безопасности, это зависит от целей, поставленных разработчиками в каждом конкретном случае.

Возникает ещё один вопрос, который пока остаётся без ответа: если мы считаем, что VR не до конца тождественна действительности, то следует ли проблеме техники безопасности уделять много внимания?

### **Каким тенденциям российского образования соответствует внедрение VR?**

Внедрение VR-лабораторий в процесс обучения химии, как и внедрение VR в целом, соответствует следующим тенденциям в российском образовании.

1) Усиление «цифровизации» – внедрение современных технологий, попытка повысить «технологичность» процесса.

2) Стремление сделать образование более дешёвым на одну «ученическую душу». И если сейчас оборудование для VR-лаборатории довольно дорогое, то со временем его стоимость уменьшится. Возможно, что обучение VR будет даже дешевле, чем реальная химическая лаборатория.

3) Повышение «качества» образования. Под этим понимают как повышение усредненного результата (средний балл ЕГЭ/ОГЭ, число учащихся, сдавших ОГЭ/ЕГЭ на  $n$  и более баллов, результаты российских и международных исследований качества образования и т.д.), так

---

<sup>5</sup>Возникает технический вопрос – как отразить выполнение пользователем этого условия? В ChemistryLab VR [26] этот вопрос решили так: надели очки – стало немного мутно (пользователь помнит про наличие очков именно из-за уменьшения чёткости).

и получение высоких персональных результатов (подготовка победителей/призеров олимпиад высокого уровня).

Именно в этом направлении виртуальные лаборатории могут принести реальную пользу. Как мы обсуждали выше, VR способна решить проблему индивидуализированной подготовки за счёт формирования персонального набора задач для конкретного школьника, персональных «подсказок», необходимого числа повторений. Это, очевидно, должно привести к улучшению учебных результатов.

Проведенный нами анализ результатов ОГЭ 2017—2018, показывает, что наименее успешно школьники справились с заданиями<sup>6</sup>, для решения которых необходимо применять знания о конкретных свойствах веществ и об особенностях проведения химического эксперимента. Для формирования умений применять знания на практике VR-лаборатория может быть использована как дополнение к реальной химической лаборатории.

4) Тенденция к повышению доступности образования. Решению этой проблемы также может помочь внедрение VR-лабораторий.

### **Как оценить эффективность внедрения/использования VR?**

На основе какого критерия следует оценивать эффективность обучения с использованием VR? С формальной (и традиционной) точки зрения самый важный критерий для оценивания эффективности обучения – учебный результат. Использование VR позволяет контролировать не только результат, но и процесс обучения на любом этапе, например, просматривая видео, которое можно записать в ходе выполнения задания. Кроме того, VR даёт возможность влиять на процесс обучения с помощью различных подсказок, которые можно предъявлять пользователю в зависимости от его поведения в системе или совершаемых им действий/выборов (подобное применение подсказок описано в [15]). Применение VR-лаборатории в учебном процессе позволяет контролировать действия пользователя и фиксировать

---

<sup>6</sup> Средний балл за выполнение этих заданий отличается от среднего балла за выполнение других заданий на 10—20%.

промежуточные результаты работы, что предоставляет учителю возможность проводить непрерывное оценивание.

Но гораздо более важным, особенно с точки зрения современных учеников и их родителей, может оказаться повышение мотивации школьников к изучению предмета за счёт эмоционального воздействия VR, что должно приводить к повышению результативности обучения. Однако этот аспект влияния VR-лабораторий на эффективность обучения требует исследования.

Развитие и использование VR-лабораторий в химии сейчас только начинается. Большая часть проблем ещё даже не выявлена, но проведение пилотных занятий позволит определить организационные и методические задачи, которые необходимо решить для эффективного внедрения виртуальных лабораторий в реальный учебный процесс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. United States Patent Office 3050870 Sensorama Simulator Morton L. Heilig URL: <https://patents.google.com/patent/US3050870A/en>.
2. Headset, Virtual Reality, Prototype. Smithsonian National Air and Space Museum URL: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/headset-virtual-reality-prototype>.
3. *Brooks F.P. Jr, Ming Ooh-Yound, Batter J.J., Jerome P.K.* - Project GROPE – Haptic Displays for Scientific Visualization // *Computer Graphics*, V.24, N.4, 08 1990 <https://beep.metid.polimi.it/documents/1564928/1768793/p177-brooks.pdf>.
4. *Cruz-Neira C., Sandin D.J., De Fanti A.T., Kenyon V.R., Hart C.J.* - The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment // *Communication of the ACM*, June 1992, Vol.35, №3 URL: <https://sci-hub.tw/10.1145/129888.129892>.
5. Google Cardboard URL: <https://www.google.ru/get/cardboard/>.
6. Samsung Gear VR consumer edition goes on sale in the US. URL: <https://www.trustedreviews.com/news/samsung-gear-vr-consumer-edition-goes-on-sale-in-the-us-2929981>.
7. Google Daydream URL: <https://blog.google/products/daydream/daydream-view-coming-stores-november-10th/>.
8. Vive now shipping immediately from HTC, retail partners expand demo locations <https://www.htc.com/us/newsroom/2016-06-07/>.
9. First look at the Rift shipping, Q1 <https://www.oculus.com/blog/first-look-at-the-rift-shipping-q1-2016/>.
10. *Ятлук Л.* VR страшилки URL <https://goo.gl/C5K6os>.

11. *Menshikova G., Kovalev A., Klimova O., Barabanshchikova V.* The application of virtual reality technology to test the motion sickness resistance // *Psychology in Russia: State of the Art.* – 2017. – Vol. 10, no. 3. – P. 151—164 [http:// psychologyinrussia.com/volumes/pdf/2017\\_3/psych\\_3\\_2017\\_11.pdf](http://psychologyinrussia.com/volumes/pdf/2017_3/psych_3_2017_11.pdf).
12. HTC раскрыла характеристики и цены Vive Focus <https://holographica.space/news/htc-vive-focus-china-13892>.
13. Oculus Quest announced 6DOF standalone VR headset <https://www.anandtech.com/show/13406/oculus-quest-announced-6-dof-standalone-vr-headset>.
14. *Лусовицкий А.* HTC предложила китайским школам шкаф с Vive Focus URL: <https://holographica.space/news/htc-vivedu-16088>.
15. *Davenport J. L., Rafferty A. N., Yaron D. J.* Whether and How Authentic Contexts Using a Virtual Chemistry Lab Support Learning *J. Chem. Educ.* 2018, 95, 1250—1259.
16. What can VR, AR & Simulation offer Teaching & Learning URL: <https://theedtechpodcast.com/100-what-can-vr-ar-simulation-offer-teaching-learning/>.
17. Chemistry Lab VR URL: <https://devpost.com/software/chemistry-lab-vr>.
18. Super Chem VR <https://www.youtube.com/watch?v=UUUL7ToMgwk>.
19. Hololab URL: <https://www.schellgames.com/games/hololab-champions>.
20. VR Chemistry LAB <http://stemgames.ru/products/vr/>.
21. Labster URL: <https://www.labster.com/simulations/>.
22. VR Chemistry LAB титрование URL: <https://youtube/pATW0qnbxI0>.
23. EduChem VR URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.EduChem.Mirror>.
24. NanoLab URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EUKCiCwDvEA>.
25. NanoLab URL: <https://vk.com/nanolaboratories>.
26. Chemistry VR URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.arlopa.chemistryvr&hl=en>.
27. Tablecraft URL: <https://playtablecraft.com/>.
28. MEL Chemistry VR URL: <https://melscience.com/vr/>.