

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ПОСТОЯННОЙ ДЛЯ
РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

Осконбаев Маралбек Чотоевич

*Кандидат физико-математических
наук, доцент, ОшГУ, Кыргызстан,
o_manas@mail.ru*

Кожобекова Пардаз Жумабаевна

*Доктор философии (PhD) по направлению 510100 – «Математика»
ОшГУ, Кыргызстан,
zpardaz@mail.ru*

Полотова Элиза Жигиталиевна

*Магистр 1-курса, ОшГУ, Кыргызстан,
polotovaeliza5@gmail.com*

Аннотация: В статье рассматривается методика экспериментального определения универсальной газовой постоянной для различных газов с использованием виртуальной лаборатории. Цель исследования заключается в расчёте численных значений универсальной газовой постоянной на основе уравнения состояния идеального газа и сравнении полученных результатов с теоретическим значением. В качестве модели использовался сферический сосуд с постоянным объёмом. Начальные параметры эксперимента составляли: давление $P_1 = 101\,000$ Па, температура $T = 293$ К и объём $V = 0,003$ м³. С помощью виртуальной лаборатории были проведены эксперименты для воздуха, кислорода, углекислого газа, азота, аргона, метана, озона, ацетилена, гелия и аммиака. По изменению давления и соответствующему изменению массы газа были рассчитаны значения универсальной газовой постоянной. Результаты показали, что рассчитанные значения близки к теоретическому значению универсальной газовой постоянной. Полученные данные подтверждают правильность предложенной методики и независимость данной физической постоянной от вида газа. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования виртуальной лаборатории при организации лабораторных занятий по молекулярной физике и термодинамике.

Ключевые слова: универсальная газовая постоянная, виртуальная лаборатория, идеальный газ, газовые законы, молекулярная физика, экспериментальный метод.

**DETERMINATION OF THE UNIVERSAL GAS CONSTANT FOR DIFFERENT
GASES BY AN EXPERIMENTAL METHOD USING A VIRTUAL LABORATORY**

Oskonbaev Maralbek Chotoevich

*candidate of physics and mathematics
Sciences, Associate Professor,
OshSU, Kyrgyzstan, o_manas@mail.ru ,*

Kozhobekova Pardaz Zhumabaевна

*Doctor of Philosophy (PhD) in the field of training 510100 – "Mathematics"
OshSU, Kyrgyzstan, zpardaz@mail.ru*

Polotova Eliza Zhigitalievna

1st year master,
OshSU, Kyrgyzstan,
polotovaeliza5@gmail.com

Abstract. This article presents a method for experimentally determining the universal gas constant for different gases using a virtual laboratory. The aim of the study is to calculate the numerical values of the universal gas constant based on the ideal gas equation and compare the obtained results with the theoretical value. A spherical vessel with a constant volume was used as a virtual experimental model. The initial parameters were pressure $P_1 = 101000$ Pa, temperature $T = 293$ K, and volume $V = 0.003$ m³. Virtual experiments were performed for air, oxygen, carbon dioxide, nitrogen, argon, methane, ozone, acetylene, helium, and ammonia. The values of the gas mass changes corresponding to pressure variations were determined. The calculated values of the universal gas constant were found to be close to the theoretical value. The results confirm the reliability of the proposed experimental methodology and demonstrate that the universal gas constant does not depend on the type of gas. The obtained results indicate that virtual laboratories can be effectively used for organizing laboratory activities in molecular physics and thermodynamics.

Keywords: universal gas constant, virtual laboratory, ideal gas, gas laws, molecular physics, experimental method.

Введение. Актуальность исследования и обзор литературы

Сочетание теоретических знаний с экспериментальной деятельностью в обучении физике является одним из ключевых условий формирования у студентов научного мировоззрения. Лабораторные работы играют важную роль в освоении физических законов в разделах молекулярной физики и термодинамики, поскольку они предоставляют студентам возможность связать теоретические модели с экспериментальными данными. Универсальная газовая постоянная (R) является одной из фундаментальных величин в молекулярной физике. Она используется в уравнении состояния идеального газа и определяется как постоянная величина, не зависящая от рода газа.

Однако недостаток современного лабораторного оборудования, высокая стоимость приборов и связанные с их обслуживанием проблемы затрудняют полноценную организацию практических экспериментов в некоторых образовательных учреждениях. Эта проблема актуальна не только для Кыргызстана, но и для многих стран мира [4, 7, 8]. В таких условиях виртуальные лаборатории приобретают значение как современная образовательная технология, позволяющая моделировать физические процессы, многократно повторять эксперименты и анализировать полученные данные.

Основное преимущество виртуальных лабораторий заключается в том, что они предоставляют студентам возможность исследовать взаимосвязи физических величин в условиях, приближенных к реальному эксперименту. Они способствуют пониманию логики проведения эксперимента, обработке результатов измерений и развитию навыков формулирования научных выводов. Данный подход имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными лабораторными работами, включая возможность неограниченного повторения экспериментов, высокий уровень безопасности и экономическую эффективность [8].

В исследованиях последних лет отмечается, что применение виртуальных лабораторий в обучении физике способствует углублению понимания студентами и улучшению их экспериментальной подготовки. Виртуальные симуляции позволяют усилить связь между теоретическими знаниями и экспериментальной деятельностью при

изучении газовых законов [6]. Также показано, что такие технологии повышают эффективность учебного процесса в условиях, когда лабораторные работы недоступны [7–9].

На международном уровне проведен ряд исследований по использованию виртуальных лабораторий в обучении физике. Martinez и соавторы [6] показали, что виртуальные симуляции углубляют понимание студентами газовых законов и укрепляют связь между теоретическими знаниями и экспериментальными действиями. Filanovich и Povzner [7] отметили, что виртуальные лаборатории повышают эффективность учебного процесса в условиях ограниченных возможностей для проведения экспериментов. Shamshin [8] выделил такие основные преимущества виртуальных лабораторий, как возможность многократного повторения экспериментов, безопасность и экономия ресурсов, тогда как Velychko и Zuma [9] указали на важную роль таких лабораторий в развитии профессиональной компетентности будущих учителей физики.

В трудах отечественных ученых также всесторонне рассматривается вопрос внедрения виртуальных лабораторий в учебный процесс. В работах Бокоевой [1] описана структура виртуальных физических лабораторий и их возможности в учебном процессе, а Трухин [4] показал, что использование виртуальных лабораторий в образовании является эффективной технологией, дополняющей традиционные эксперименты. В исследованиях, проведенных в Ошском государственном университете, накоплен практический опыт моделирования различных физических процессов и организации лабораторных работ с помощью виртуальных лабораторий [3, 5].

Тем не менее, сравнительно мало встречается исследований, в которых с помощью виртуальных лабораторий по единой методике определяется универсальная газовая постоянная для различных газов и полученные экспериментальные результаты сравниваются с теоретическим значением. В предшествующих работах внимание чаще уделялось изучению свойств только одного газа, тогда как комплексные исследования, охватывающие широкий спектр газов с различной молярной массой, недостаточны. Между тем, такое исследование важно для экспериментальной демонстрации фундаментального характера универсальной газовой постоянной и оценки эффективности виртуальных технологий в учебном процессе.

В связи с этим в настоящем исследовании предусмотрено экспериментальное определение универсальной газовой постоянной для различных газов с помощью виртуальной лаборатории, сравнение полученных значений с теоретической величиной и оценка возможности применения предложенной методики в учебном процессе.

Научно-методическая новизна исследования

Научно-методическая новизна исследования заключается в определении универсальной газовой постоянной для десяти газов с различной молярной массой (воздух, кислород, углекислый газ, азот, аргон, метан, озон, ацетилен, гелий и аммиак) с использованием единой виртуальной экспериментальной методики. Данная методика демонстрирует возможность применения вычислительного алгоритма, основанного на изменении давления и массы газа, в лабораторных работах по молекулярной физике.

Кроме того, в исследовании проведено сравнение результатов, полученных для газов с различными физико-химическими свойствами, и на экспериментальной основе показано, что универсальная газовая постоянная является фундаментальной физической величиной,

не зависящей от рода газа. Данный подход отличается от традиционных лабораторных работ тем, что охватывает более широкий спектр газов.

Цель и задачи исследования

Основная цель исследования – экспериментальное определение универсальной газовой постоянной для различных газов с использованием виртуальной лаборатории, сравнение полученных значений с теоретическим значением и оценка возможности применения предложенной методики в обучении молекулярной физике.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- создать экспериментальную модель для различных газов на основе виртуальной лаборатории;
- определить изменение массы газа, связанное с изменением его давления;
- обработать полученные экспериментальные данные в Международной системе единиц (СИ);
- рассчитать значения универсальной газовой постоянной на основе уравнения состояния идеального газа;
- сравнить рассчитанные значения с теоретическим значением $R=8,314 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$;
- оценить возможность применения предложенной экспериментальной методики в лабораторных работах по физике.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны газы, обладающие различными физико-химическими свойствами. В эксперименте использовались следующие газы: воздух, кислород, углекислый газ, азот, аргон, метан, озон, ацетилен, гелий и аммиак.

Поскольку молярные массы этих газов различаются (в диапазоне от 0,004 до 0,048 кг/моль), сравнение результатов, полученных при определении универсальной газовой постоянной, позволяет проверить ее независимость от рода газа. Выбор столь широкого спектра газов создает удобные условия для обобщения результатов исследования и подтверждения фундаментального характера универсальной газовой постоянной.

Описание экспериментальной модели

Исследование проводилось на основе компьютерной виртуальной лаборатории. Виртуальная модель предусматривает возможность выбора рода газа, изменения давления и других параметров, а также определения массы газа в сосуде.

Общий вид виртуальной лаборатории представлен на рисунке 1.

Экспериментальные условия

Эксперимент проводился для всех газов в одинаковых условиях. Объем сосуда и температура поддерживались неизменными. Измерялись разность давлений в начальном и конечном состояниях, а также изменение массы газа, на основе которых рассчитывалась универсальная газовая постоянная.

В исследовании были приняты следующие основные параметры:

- объем сосуда: $V = 0,003 \text{ м}^3$;
- температура: $T = 293 \text{ К}$;
- начальное давление: $P_1 = 101\,000 \text{ Па}$.

В этом начальном состоянии определялась общая масса сосуда вместе с газом m_1 .

В качестве переменных величин в ходе эксперимента выступали давление и масса газа в сосуде. При выполнении виртуальной лабораторной работы тот же самый газ добавлялся в сосуд (с помощью насоса производилась «продувка» сосуда), и давление газа повышалось до значения P_2 . В результате добавления газа масса газа в сосуде увеличивалась, и измерялась новая общая масса сосуда вместе с газом. Таким образом, для каждого эксперимента определялись изменение давления $\Delta P = P_2 - P_1$, и изменение массы газа $\Delta m = m_2 - m_1$.

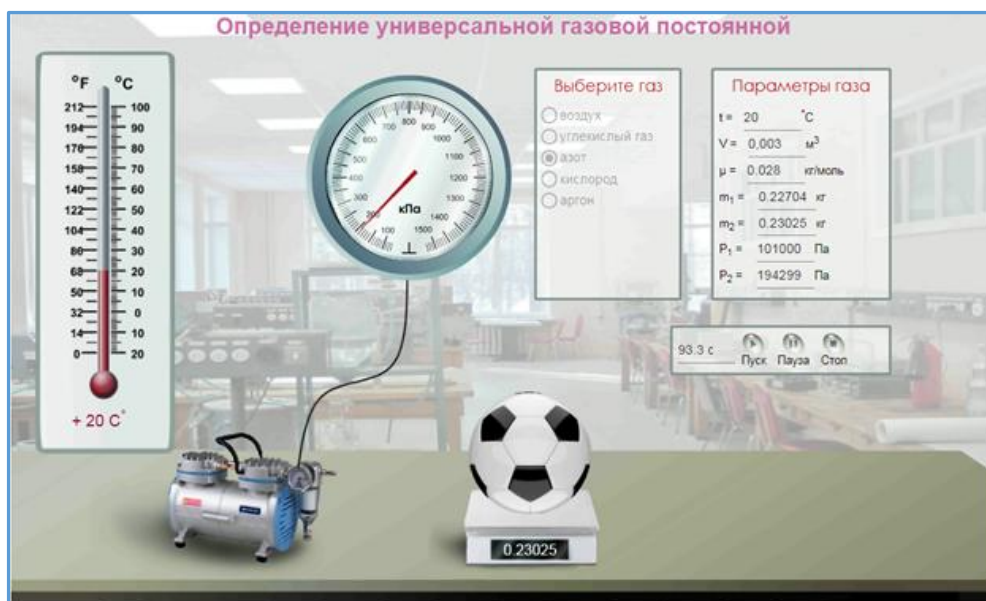


Рисунок 1. Общий вид виртуальной лаборатории

Автоматизированная измерительная система виртуальной лаборатории исключает погрешности приборов и субъективные факторы. Поскольку все эксперименты проводились в одинаковых условиях, полученные данные допускают непосредственное сравнение друг с другом.

Теоретическая основа и методика расчета

Определение универсальной газовой постоянной основано на уравнении состояния идеального газа:

$$PV = nRT \quad (1)$$

Количество вещества определяется через массу газа и молярную массу:

$$n = m/\mu \quad (2)$$

Подставляя это значение в уравнение состояния идеального газа, получаем:

$$PV = (m/\mu)RT \quad (3)$$

Для начального и конечного состояний эксперимента получаются следующие уравнения:

$$P_1V = (m_1/\mu)RT \quad (4)$$

$$P_2V = (m_2/\mu)RT \quad (5)$$

Поскольку в ходе эксперимента температура (T), объем сосуда (V) и молярная масса для данного газа (μ) остаются постоянными, вычитание уравнения (4) из уравнения (5) дает следующее соотношение:

$$(P_2 - P_1)V = ((m_2 - m_1)/\mu)RT \quad (6)$$

Отсюда универсальная газовая постоянная определяется по формуле:

$$R = (P_2 - P_1)V\mu/((m_2 - m_1)T) \quad (7)$$

где:

- P_1 – начальное давление, Па;
- P_2 – конечное давление, Па;
- V – объем сосуда, м³;
- m_1 – общая масса сосуда с газом в начальном состоянии, кг;
- m_2 – общая масса сосуда с газом в конечном состоянии, кг;
- μ – молярная масса газа, кг/моль;
- T – абсолютная температура, К;
- R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Формула (7) позволяет определить значение универсальной газовой постоянной для каждого газа на основе экспериментальных данных.

Для проверки корректности формулы был проведен размерный анализ:

$$[R] = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{кг/моль}}{\text{кг} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Н/м}^2 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{кг/моль}}{\text{кг} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{кг/моль}}{\text{кг} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Размерный анализ подтверждает правильность формулы (7).

Порядок проведения эксперимента

Эксперимент в виртуальной лаборатории проводился по следующим этапам:

1. Устанавливались постоянные для всех экспериментов значения объема сосуда ($V = 0,003 \text{ м}^3$) и температуры ($T = 293 \text{ К}$).
2. Выбирался исследуемый газ, определялись начальное давление $P_1 = 101\,000 \text{ Па}$ общая масса сосуда с газом m_1 .
3. В сосуд добавлялся тот же газ (с помощью насоса производилась продувка), и давление изменялось до значения P_2 . Для каждого газа конечные значения давления были различными (см. таблицу 1).
4. Измерялась общая масса сосуда с газом в конечном состоянии m_2 .
5. Рассчитывались изменение давления:

$$\Delta P = P_2 - P_1,$$

и разность масс:

$$\Delta m = m_2 - m_1.$$

6. Полученные данные подставлялись в формулу (7) для расчета универсальной газовой постоянной, и определялось значение R для каждого газа.

$$R_{\text{Air}} = \frac{(312899 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,032}{(0,45235 - 0,44401) \cdot 293} = \frac{211899 \cdot 0,003 \cdot 0,032}{0,00834 \cdot 293} = \frac{20,342}{2,44362} = 8,31 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{\text{O}_2} = \frac{(250699 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,044}{(0,49243 - 0,48432) \cdot 293} = \frac{149,699 \cdot 0,003 \cdot 0,044}{0,00811 \cdot 293} = \frac{19,760}{2,376} = 8,316 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{\text{N}_2} = \frac{(300699 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,028}{(0,33401 - 0,32713) \cdot 293} = \frac{199699 \cdot 0,003 \cdot 0,028}{0,00688 \cdot 293} = \frac{16,774}{2,015} = 8,324 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{\text{Ar}} = \frac{(305299 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,04}{(0,27288 - 0,26282) \cdot 293} = \frac{204299 \cdot 0,003 \cdot 0,04}{0,01006 \cdot 293} = \frac{24,56}{2,947} = 8,31 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{O_3} = \frac{(313299 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,048}{(0,51788 - 0,50534) \cdot 293} = \frac{212299 \cdot 0,003 \cdot 0,048}{0,01254 \cdot 293} = \frac{30,571}{3,67} = 8,32 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{C_2H_2} = \frac{(321199 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,026}{(0,27380 - 0,26675) \cdot 293} = \frac{211199 \cdot 0,003 \cdot 0,026}{0,00705 \cdot 293} = \frac{17,175}{2,065} = 8,31 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{He} = \frac{(307999 - 101000) \cdot 0,003 \cdot 0,004}{(0,494883 - 0,49381) \cdot 293} = \frac{206999 \cdot 0,003 \cdot 0,004}{0,00102 \cdot 293} = \frac{2,4839}{0,298} = 8,335 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

$$R_{NH_3} = \frac{220999 \cdot 0,003 \cdot 0,017}{0,00463 \cdot 293} = 8,296 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

Все расчеты проводились в Международной системе единиц (СИ). Соблюдение одинаковых экспериментальных условий позволило провести сравнительный анализ результатов, полученных для различных газов.

Результаты исследования

Общий вид виртуальной лаборатории представлен на рисунке 1 (показан выше).

Результаты экспериментов по определению универсальной газовой постоянной для различных газов приведены в таблице 1.

№	Газ	(μ), кг/моль	(m_1), кг	(m_2), кг	($m_2 - m_1$), кг	(P_2), Па	($P_2 - P_1$), Па	(R), Дж/(моль·К)
1	Аба	0,029	0,48596	0,48961	0,00365	203299	102299	8,390
2	Кычкылтек	0,032	0,44401	0,45235	0,00834	312899	211899	8,310
3	Көмүр кычкыл газы	0,044	0,48432	0,49243	0,00811	250699	149699	8,316
4	Азот	0,028	0,32713	0,33401	0,00688	300699	199699	8,324
5	Аргон	0,040	0,26282	0,27288	0,01006	305299	204299	8,310
6	Метан	0,016	0,34869	0,35300	0,00431	319799	218799	8,330
7	Озон	0,048	0,50534	0,51788	0,01254	313299	212299	8,320
8	Ацетилен	0,026	0,26675	0,27380	0,00705	321199	220199	8,310
9	Гелий	0,004	0,49381	0,49483	0,00102	307999	206999	8,335
10	Аммиак	0,017	0,27572	0,28035	0,00463	321999	220999	8,296

Таблица 1 – Экспериментальные данные и рассчитанные значения универсальной газовой постоянной для различных газов

Анализ результатов

Как видно из данных таблицы 1, для каждого газа начальное давление $P_1 = 101\,000$ Па и температура $T = 293\text{ К}$ поддерживались постоянными. Поскольку для каждого газа количество добавляемого в сосуд газа было различным, конечное давление P_2 и изменение массы Δm имели разные значения. Однако во всех случаях рассчитанные значения R оказались близкими друг к другу.

Для оценки степени приближения полученных экспериментальных результатов к теоретическому значению было рассчитано относительное отклонение по следующей формуле:

$$\delta = \frac{|R_{\text{эксп}} - R_{\text{теор}}|}{R_{\text{теор}}} \times 100\%$$

где:

- $R_{\text{эксп}}$ – универсальная газовая постоянная, полученная экспериментально;
- $R_{\text{теор}} = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – теоретическое значение;
- δ – относительное отклонение.

Например, наибольшее расхождение наблюдалось для воздуха:

$$\delta = \frac{|8,390 - 8,314|}{8,314} \times 100\% = 0,91\%$$

Таким образом, отклонение экспериментального значения для воздуха от теоретического составило 0,91%. Для других газов относительные отклонения были еще меньше (от 0,02% до 0,24%), что подтверждает близость всех полученных значений к теоретической величине.

Обсуждение результатов

Анализ экспериментальных данных показал, что для всех исследованных газов рассчитанные значения универсальной газовой постоянной оказались близкими друг к другу. Диапазон полученных значений составил:

$$8,296 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \leq R \leq 8,390 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Эти значения незначительно отличаются от принятого теоретического значения универсальной газовой постоянной ($R = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$).

Молярные массы исследованных газов варьировались в широком диапазоне. Например, для гелия молярная масса составила 0,004 кг/моль, тогда как для озона – 0,048 кг/моль. Различие между этими показателями достигает 12 раз. Однако, несмотря на столь значительные различия в молярных массах, рассчитанные значения R для всех газов оказались практически одинаковыми. Это экспериментально подтверждает тот факт, что универсальная газовая постоянная не зависит от химического состава или молекулярной массы газа. Иными словами, данная величина является фундаментальной физической константой, одинаковой для всех идеальных газов.

Анализ данных таблицы показал, что наибольшее относительное отклонение наблюдается для воздуха. Этот результат является ожидаемым и объясняется тем, что воздух представляет собой не чистый газ, а смесь нескольких газов. Основными компонентами воздуха являются азот (78%), кислород (21%), аргон (0,9%) и углекислый газ (0,03%), которые имеют различные молярные массы. Средняя молярная масса воздуха (0,029 кг/моль) является приближенной величиной, определяемой соотношением компонентов смеси, что в определенной степени влияет на точность расчетов. Если бы точный состав воздуха был известен с большей детализацией, расчеты были бы более точными.

В то же время результаты, полученные для чистых газов (кислород, углекислый газ, азот, аргон, метан, озон, ацетилен, гелий, аммиак), оказались очень близки к теоретическому значению, что подтверждает корректность использованной экспериментальной методики. Особенно показательно, что для кислорода, аргона и ацетилена полученное значение ($R = 8,310 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$) отличается от

теоретического всего на 0,05%. Этот показатель свидетельствует о высокой точности виртуальной лаборатории и надежности предложенной методики.

Полученные результаты согласуются с данными исследований по применению виртуальных лабораторий в обучении физике. Martinez и соавторы [6] показали, что виртуальные симуляции углубляют понимание студентами газовых законов и укрепляют связь между теоретическими знаниями и экспериментальными действиями. Filanovich и Povzner [7] отметили, что виртуальные лаборатории повышают эффективность учебного процесса в условиях ограниченных возможностей для проведения экспериментов. Shamshin [8] выделил такие основные преимущества виртуальных лабораторий, как возможность многократного повторения экспериментов, безопасность и экономия ресурсов, тогда как Velychko и Zuma [9] указали на важную роль таких лабораторий в развитии профессиональной компетентности будущих учителей физики.

Вместе с тем, необходимо отметить, что виртуальные лаборатории не могут полностью заменить реальные эксперименты. В реальных лабораторных работах учитываются точность приборов, погрешности измерений, изменения температуры и давления окружающей среды, а также влияние других внешних факторов. В виртуальных моделях эти факторы представлены в упрощенном виде, поэтому полученные результаты в основном направлены на демонстрацию справедливости теоретических законов. Виртуальные эксперименты ориентированы преимущественно на проверку теоретических моделей и формирование физических понятий в учебном процессе.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предложенной методики на лабораторных занятиях по молекулярной физике и термодинамике. Особенно актуально это для образовательных учреждений с ограниченным лабораторным оборудованием, а также в условиях дистанционного обучения, где виртуальные лаборатории могут служить дополнительным средством организации экспериментальной работы. Кроме того, предложенная методика пригодна для использования в самостоятельной работе студентов, а также в физических практикумах.

Заключение

В данном исследовании разработана и апробирована методика экспериментального определения универсальной газовой постоянной для различных газов с использованием виртуальной лаборатории, а также оценены ее возможности. В ходе исследования для 10 различных газов в одинаковых экспериментальных условиях были проведены расчеты, и полученные результаты показали, что значения универсальной газовой постоянной близки к теоретическому значению.

Установлено, что отклонение экспериментальных значений от теоретического не превышает 1%. Наибольшее отклонение (0,91%) наблюдалось для воздуха, что объясняется тем, что воздух является не чистым газом, а смесью различных газов. Для чистых газов отклонения составили от 0,05% до 0,24%, что подтверждает корректность использованной расчетной методики и учебно-методическую надежность виртуального эксперимента.

Основной научный результат исследования заключается в экспериментальном доказательстве того, что универсальная газовая постоянная является фундаментальной физической величиной, не зависящей от рода газа и его молярной массы. Близость

значений R , полученных для газов с резко различающимися молярными массами (0,004–0,048 кг/моль), подтверждает универсальность уравнения состояния идеального газа для всех газов.

Предложенная методика пригодна для организации лабораторных работ по молекулярной физике и термодинамике, а также для использования в условиях дистанционного и смешанного обучения. Простота, наглядность и воспроизводимость методики позволяют эффективно применять ее в учебном процессе.

В то же время виртуальные лаборатории следует рассматривать не как полную замену реальных экспериментов, а как современное образовательное средство, их дополняющее. Виртуальные эксперименты направлены на понимание теоретических моделей и развитие расчетных навыков, тогда как реальные лабораторные работы формируют практические умения и навыки точных измерений.

В качестве перспектив дальнейших исследований целесообразно провести сравнение результатов виртуальных и реальных лабораторных экспериментов, а также адаптировать предложенную методику для других разделов физики (электродинамика, оптика, атомная физика). Кроме того, интересной научной задачей является сравнительное исследование точности различных виртуальных лабораторий.

Список использованной литературы

1. Бокоева Л. Виртуальные лаборатории по физике. - С-петербург. – 2012
2. Боярский К.К., Монахов В.В., Евстигнеев Л.А. Виртуальная лаборатория по физике в WWW для 10–11 классов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2001. – №1. – С. 64–72.
3. Осконбаев М.Ч., Кожобекова П.Ж., Маматова М. Виртуалдык лабораториянын жардамы менен туздардын жутулуу спектрин изилдөө методикасы // А. Мырсабеков атындагы Ош мамлекеттик педагогикалык университетинин жарчысы. – Ош, 2022. – №1. – 223–227-б.
4. Трухин А.В. Об использовании виртуальных лабораторий в образовании // Открытое и дистанционное образование. – 2002. – №4(8). – С. 81–82.
5. Эгембердиев Ж., Кожобекова П., Мамасадыкова Ж. Физикалык практикум. – Ош: ОшМУ, 2008. – 146 б.
6. Martinez B.L., Sweeder R.D., VandenPlas J.R. et al. Improving conceptual understanding of gas behavior through the use of screencasts and simulations // International Journal of STEM Education. – 2021. – Vol. 8. – Article 5.
7. Filanovich A., Povzner A. Virtual Laboratories in Physics Education // The Physics Teacher. – 2021. – Vol. 59, No. 8. – P. 582–584.
8. Shamshin A. Detailed Analysis of the Advantages of Virtual Laboratory Works in Physics // ScienceRise: Pedagogical Education. – 2021. – No. 4. – P. 30–36.
9. Velychko V., Zyma G. Virtual Laboratory Workshops in the Process of Training Future Physics Teachers // E-learning & TeXnology. – 2021. – Vol. 5. – P. 73–78.
10. Виртуальная лаборатория по физике: законы идеального газа [Электронный ресурс]. – URL: <http://sunspire.ru>
11. Интерактивная физическая лаборатория: газовые законы [Электронный ресурс]. – URL: <https://efizika.ru/html5/23/index.html>