

CZU: 371.388:53(07)

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.5094841>

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ В ЛИЦЕЙСКОМ И УНИВЕРСИТЕТСКОМ КУРСАХ ФИЗИКИ

Виктория ВАНГЕЛИЙ*, Денис НИКА

**Теоретический лицей им. Алеку Руссо
Молдавский государственный университет*

В данной статье обсуждается роль лабораторных работ в лицейском и университетском курсах физики. Описываются методические подходы к проведению лабораторных работ и проведен их сравнительный анализ. Представлены статистические данные об успеваемости учащихся, полученные авторами за несколько лет работы.

Ключевые-слова: лабораторная работа, физика, куррикулум, ученик, студент.

LABORATORY WORKS FOR THE LYCEUM AND UNIVERSITY COURSE OF PHYSICS

This article discusses the role of laboratory works in school and university physics classes. Methodical approaches to laboratory works are described and their comparative analysis is carried out. The statistical data on student performance obtained by the authors over several years are presented.

Keywords: laboratory work, physics, curriculum, pupil, student.

LUCRĂRI DE LABORATOR PENTRU CURSUL DE FIZICĂ LICEAL ȘI UNIVERSITAR

Acest articol pune în discuție rolul lucrărilor de laborator în cursul de fizică liceal și universitar. Sunt descrise abordări metodice aplicate la efectuarea lucrărilor de laborator și se face analiza comparativă a acestora. Sunt prezentate date statistice privind performanța elevilor/studentilor colectate de autori pe parcursul mai multor ani de activitate.

Cuvinte-cheie: lucrare de laborator, fizică, curriculum, elev, student.

Введение

Физика – это единственный школьный предмет, на уроках которого последовательно и всесторонне изучаются процессы и явления, протекающие в окружающем мире. Конечной целью учителя физики является формирование у учеников критического мышления, а также умения применять физические методы и подходы к решению практических задач. Таким образом, физика обладает значительным потенциалом для реализации компетентного подхода, обозначенного национальным куррикулумом, и для формирования компетенции научного исследования и компетенции праксиологических приобретений в области физики [1-3]. Большой вклад в приобретение этих компетенций вносит такая специфическая составляющая школьного и университетского курсов физики как лабораторная работа.

При изучении физического явления всегда строится некоторая приближенная модель протекающего процесса. Построение «идеальной» модели невозможно в принципе, так как невозможно учесть все факторы, влияющие на протекание изучаемого явления. При построении модели ограничиваются рассмотрением наиболее важных из них. В результате, можно построить много моделей для одного и того же явления или процесса, и экспериментальная проверка теоретических предсказаний является единственным методом, который позволяет выбрать естественным способом наиболее адекватную модель. Кроме этого, учет дополнительных влияющих факторов зачастую ведет к усложнению математического описания модели и к уравнениям, которые не имеют аналитических решений, а возможные численные решения не обладают достаточной наглядностью и усложняют восприятие материала школьниками или студентами. Поэтому, всегда приходится выбирать оптимум между математической простотой физической модели явления и ее точностью. В этом случае, эксперимент также является единственным способом проверить насколько обоснованным было математическое упрощение процесса.

Проиллюстрируем последнее на примере исследования теплопроводности графена – моноатомной пленки атомов углерода. В 2008 году экспериментально были получены рекордные значения теплопроводности графена в диапазоне $3000 - 5000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ при комнатной температуре [4-5]. В первых теоретических работах, интерпретирующих столь высокие значения теплопроводности, теплопроводность графена рассчитывалась из кинетического уравнения Больцмана, записанного с использованием приближенного значения матричного элемента трехфононного взаимодействия и решаемого в

приближении времени фоновой релаксации [6-7]. Такие модели позволили получить аналитические формулы для решеточной теплопроводности графена в зависимости от температуры, параметра поверхностного рассеяния фононов и геометрических размеров (длина и ширина) пленки [6-7]. В последующих теоретических работах стали более точно учитывать матричные элементы трехфононного и четырехфононного взаимодействий, а также стали применять молекулярную динамику и теорию функционала плотности для расчета теплопроводности графена [8-12]. Эти более точные модели [8-11] допускали только численное моделирование теплопроводности. Несмотря на то, что значения теплопроводности, полученные во всех теоретических работах [6-11], хорошо согласуются между собой, теоретическое объяснение высоких значений теплопроводности различается [12]. И только эксперимент сможет дать ответ на вопрос какая из современных моделей теплопроводности графена более правильная.

Лабораторная работа, в свою очередь, является единственной составляющей курса физики, в ходе которой учащиеся (здесь и далее под учащимися мы понимаем и школьников, и студентов) учатся правильно проводить эксперименты, ставить задачи, которые будут решаться в ходе эксперимента, и корректным образом интерпретировать данные, полученные в ходе эксперимента. Фактически, лабораторная работа – это небольшой эксперимент, который позволяет как практическое наблюдение изучаемых физических явлений, так и проверку зависимостей одних физических величин от других, полученных из теоретической модели. При выполнении лабораторных работ учащиеся также приобретают практические навыки работы с физическими приборами, учатся самостоятельно проводить измерения и оценивать погрешности, допущенные при измерениях. Поэтому дидактическая ценность лабораторных работ как в лицейском, так и в университетском курсах физики очень высокая.

Методы проведения лабораторных работ по физике

В зависимости от конкретных дидактических целей, которые ставит преподаватель физики, лабораторные работы могут проводиться различными методами. В [13] выделены следующие методы проведения лабораторных работ: *репродуктивный метод*, *частично-поисковый метод* и *исследовательский метод*. По-нашему мнению, эта классификация методов проведения лабораторных работ полностью соответствует национальному куррикулуму и темам, по которым рекомендуется проводить лабораторные работы [14-20].

При *репродуктивном методе* выполнения лабораторных работ учащиеся проверяют на практике закономерности физических явлений, которые они изучили в ходе предыдущих уроков или лекций. Основными целями таких лабораторных работ является не получение новых знаний, а практическая проверка уже известных фактов для более глубокого изучения и понимания протекающих физических процессов и/или явлений.

При *частично-поисковом методе* выполнения лабораторных работ учащиеся под руководством преподавателя выполняют некоторые последовательные действия/измерения, но изначально не знают к каким выводам они должны прийти после обработки экспериментальных данных. В конце лабораторной работы, проводимой таким методом, они самостоятельно (или при помощи преподавателя) формулируют новые неизвестные им физические закономерности или факты. Частично-поисковый метод хорошо развивает у учащихся способность логически мыслить, обобщать и анализировать известные данных с целью получения новых данных.

При *исследовательском методе* выполнения лабораторных работ учащиеся получают только краткие рекомендации по их выполнению. Задание таких лабораторных работ формулируется в самой общей форме, например: *Провести экспериментальное исследование зависимости одной физической величины от другой*. При таком методе выполнения лабораторных работ учащиеся самостоятельно определяют конкретные шаги, необходимые для выполнения лабораторной работы, самостоятельно проводят необходимые измерения и обрабатывают полученные данные, самостоятельно формулируют выводы после анализа полученных данных.

Большинство лабораторных работ как в лицейском, так и в университетском курсах физики проводится *репродуктивным методом*. Такие лабораторные работы могут быть успешно выполнены и «слабыми» учащимися. Лабораторные работы, выполняемые *частично-поисковым методом* рассчитаны все-таки на «средних» и «сильных» учащихся. Поэтому их выполнение лучше проводить в группах учащихся, сформированных преподавателем таким образом, чтобы группа могла самостоятельно

выполнить лабораторную работу. Лабораторные работы, выполняемые *исследовательским методом*, рассчитаны на «сильных» учащихся, которым нравится предмет *Физика* и которые обладают необходимыми фактическими знаниями. В лицейском курсе физики такие лабораторные работы выполняются редко и, обычно, даются только некоторым ученикам из класса – самым подготовленным.

Лабораторные работы по физике в 10-ом – 12-ом классах гуманитарного профиля

В таблице 1 представлены лабораторные работы лицейского курса физики 10-12 классов гуманитарного профиля, рекомендованные куррикулумом, и методы их выполнения. В последней колонке указан процент качества выполнения лабораторных работ $\eta = \frac{N_{8-10}}{N}$, где N_{8-10} – это число учеников, получивших оценку 8 и выше, а N – это число всех учеников. При расчете процента качества учитывались данные, собранные одним из авторов статьи (В. Вангелий) за пятилетний период работы (учебные года 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 и 2018/2019). Данные последних двух лет не учитывались, так как онлайн-обучение сильно искажает статистические данные.

Таблица 1

Лабораторные работы лицейского курса физики гуманитарного профиля

№ п/п	Класс	Название лабораторной работы	Метод проведения	Процент качества η (%)
1	10	Изучение равномерного прямолинейного движения	репродуктивный	51
2	10	Экспериментальная проверка одной из формул, характеризующих прямолинейное равнопеременное движение тела	репродуктивный	48
3	10	Определение неизвестной массы тела с помощью пружины и тела с известной массой	частично-поисковый	41
4	10	Определение коэффициента трения скольжения	репродуктивный	46
5	10	Изучение математического маятника и определение напряжённости гравитационного поля/ускорения свободного падения	частично-поисковый	43
6	11	Изучение одного из изопроцессов в идеальном газе	репродуктивный	49
7	11	Определение внутреннего сопротивления и ЭДС источника тока	репродуктивный	47
8	12	Определение длины световой волны при помощи дифракционной решётки	репродуктивный	54

Из таблицы 1 видно, что лабораторные работы, проводимые частично-поисковым методом, имеют более низкий процент качества, что было вполне ожидаемо. Хотим обратить особое внимание на то, что на итоговую оценку сильно влияет вычислительная часть лабораторной работы, которая требует от ученика хорошего знания математических законов и преобразований. Например, при выполнении лабораторной работы 10-го класса «*Определение неизвестной массы тела с помощью пружины и тела с известной массой*» ученику необходимо, в общем виде, решить систему двух иррациональных уравнений, чтобы получить формулу для искомой массы тела.

Даже при выполнении лабораторных работ репродуктивным методом можно использовать следующий прием, который усиливает мотивацию учеников: перед выполнением лабораторной работы учащимся дается на дом задание подготовиться к лабораторной работе, а на уроке при выполнении данной лабораторной работы вместе с учениками обсуждается ход эксперимента. Ученики, которые наиболее правильно составили план экспериментальной работы, получают дополнительные баллы к оценке.

Лабораторные работы по физике в университетском курсе для студентов специальности *Информационные технологии*

Хотя специальность *Информационные технологии (ИТ)* [21] не связана напрямую с физикой, знание основных физических законов и умение работать с физическими приборами необходимы, например, тем специалистам из области ИТ, которые занимаются разработкой программно-аппаратных комплексов. Практический опыт работы с физическими приборами студенты получают в ходе выполнения лабораторных работ. По сравнению с лабораторными работами из лицейского курса физики, в университетском курсе увеличивается число работ, проводимых частично-поисковым методом. При этом большинство лабораторных работ на специальности *ИТ* выполняются по-прежнему репродуктивным методом. Однако, существуют значительные отличия в дидактических методах, применяемых в школьном и университетском образовании.

При подготовке к выполнению лабораторной работы университетского курса общей физики студент получает для самостоятельного изучения подробное описание теоретических основ и хода выполнения работы. Так как все лабораторные работы, изучаемого раздела физики (механика, молекулярная физика и т.д.), выполняются студентами параллельно, то для некоторых лабораторных работ возникает такая ситуация, что их тематика еще не была изучена на лекционных занятиях. Все это требует гораздо более самостоятельного и серьезного подхода к изучению материала, связанного с тематикой лабораторной работы. К практическому выполнению лабораторной работы допускаются лишь те студенты, которые сдали преподавателю как теоретические основы лабораторной работы, так и методику проведения необходимых измерений (включая и технику безопасности при работе с физическими приборами).

В таблице 2 представлены темы некоторых лабораторных работ курса общей физики, выполняемых студентами специальности *ИТ*. Так как выполнение лабораторной работы оценивается по системе *зачет-незачет*, в таблице приведен процент студентов ξ , которые с первого раза получают зачет по итогам выполнения лабораторной работы. При расчете этого показателя учитывались данные собранные одним из авторов этой статьи (Д.Ника) в течение 2015/2016, 2016/2017 и 2017/2018 учебных годов.

Таблица 2

Лабораторные работы университетского курса общей физики (для студентов специальности *Информационные технологии*)

№ п/п	Название лабораторной работы	Метод проведения	ξ (%)
1	Определение плотности тела правильной геометрической формы	репродуктивный	92
2	Определение модуля упругости методом деформации удлинением	репродуктивный	88
3	Определение длины и частоты звуковой волны в воздухе резонансным методом	репродуктивный	88
4	Изучение второго закона Ньютона	частично-поисковый	78
5	Изучение удельной теплоемкости твердого тела	частично-поисковый	75
6	Определение коэффициента объемного расширения жидкости	репродуктивный	90
7	Изучение электростатического поля	репродуктивный	92
8	Проверка закона Джоуля - Ленца	частично-поисковый	78
9	Вольт-амперная характеристика диода	репродуктивный	86
10	Изучение однофазного трансформатора	репродуктивный	84
11	Исследование интерференции и дифракции света	частично-поисковый	75
12	Определение постоянной Стефана-Больцмана	репродуктивный	84
13	Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта	частично-поисковый	75
14	Изучение спектра атома ртути и определение постоянной Ридберга	репродуктивный	80

Выводы

Проведение лабораторных работ в курсе физики предоставляет, с одной стороны, уникальную возможность ознакомить учащихся с основами проведения эксперимента и с правилами работы с физическими приборами, а с другой стороны – стимулирует учащихся к более глубокому изучению и пониманию материала. Правильно проведенная лабораторная работа дополняет теоретические знания, полученные учащимися, и формирует у них целостную законченную картину изучаемого физического явления или закона. Задания, формулируемые преподавателем в ходе выполнения лабораторных работ, являются эффективным инструментом формирования у учащихся исследовательской компетенции и компетенции праксиологических накоплений в области физики.

Литература:

1. *Curriculum național: clasele 6-9: Curriculum disciplinar: Ghid de implementare* / Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova./Coordonatori: Angela CUTASEVICI, Valentin CRUDU, Victor PĂGÎNU; grupul de lucru: Viorel BOCANCEA. Chișinău: Lyceum, 2020.
2. *Физика. Астрономия: Методический гид для лицеев с русским языком обучения* / БОТГРОС, И., БОКАНЧА, В., ЧУВАГА, В., ПЭГЫНУ, В., Издание первое, 2010.
3. *Физика. Астрономия: Curriculum național: Clasele 10-12: Curriculum disciplinar: Ghid de implementare* / Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova; coordonatori: Angela CUTASEVICI, Valentin CRUDU, Victor PĂGÎNU; grupul de lucru: Viorel BOCANCEA (coord.) [et al.]; traducere: Olga Machevna. Chișinău: Lyceum, 2020.
4. BALANDIN, A.A., GHOSH, S., BAO, W., CALIZO, I., TEWELDEBRHAN, D., MIAO, F., LAU, C.N. Superior thermal conductivity of single-layer graphene. In: *Nano Letters*, 2008, vol.5, p.902-907.
5. GHOSH, S., CALIZO, I., TEWELDEBRHAN, D., POKATILOV, E.P., NIKA, D.L., BALANDIN, A.A., BAO, W., MIAO, F., LAU, C.N. Extremely high thermal conductivity of graphene: prospects for thermal management applications in nanoelectronic circuits. In: *Applied Physics Letters*, 2008, vol.92, 151911.
6. NIKA, D.L., GHOSH, S., POKATILOV, E.P., BALANDIN, A.A. Lattice thermal conductivity of graphene flakes: comparison with bulk graphite. In: *Applied Physics Letters*, 2009, vol.94, 203103.
7. KLEMENS, P.G. Theory of the a-plane thermal conductivity in graphite. In: *Journal of wide bandgap materials*, 2000, vol.7, p.332-339.
8. NIKA, D.L., POKATILOV, E.P., ASKEROV, A.S., BALANDIN, A.A. Phonon thermal conduction in graphene: role of Umklapp and edge roughness scattering. In: *Physical Review B*. 2009, vol. 79, 155413.
9. LINDSAY, L., BROIDO, D., MINGO, N. Flexural phonons and thermal transport in graphene. In: *Physical Review B*, 2010, vol.82, 115427.
10. FTHENAKIS, Z.G., ZHU, Z., TOMANEK, D. Effect of structural defects on the thermal conductivity of graphene: from point to line defects to haeckelites. In: *Physical Review B*, 2014, vol.89, 125421.
11. KIM, T.E., PARK, C.-H., MARZARI, N. The electronic thermal conductivity of graphene. In: *Nano Letters*, 2016, vol.16, no.4, p.2439-2443.
12. NIKA, D.L., BALANDIN, A.A. Phonons and thermal transport in graphene and graphene-based materials. In: *Reports on Progress in Physics*, 2017, vol. 80, 036502.
13. Лабораторные работы по физике [Дата обращения 25.05.2021]. Доступен: <https://fizmet.org/ru/L10.htm>
14. БОТГРОС, И., БОКАНЧА, В., ДОНИЧ, В., КОНСТАНТИНОВ, Н. *Физика*. 6 класс.
15. БОТГРОС, И., БОКАНЧА, В., ДОНИЧ, В., КОНСТАНТИНОВ, Н., ЧУВАГА, В. *Физика*. 7 класс.
16. БОТГРОС, И., БОКАНЧА, В., ДОНИЧ, В., КОНСТАНТИНОВ, Н. *Физика*. 8 класс.
17. БОТГРОС, И., БОКАНЧА, В., ДОНИЧ, В., КОНСТАНТИНОВ, Н. *Физика*. 9 класс.
18. МАРИНЧУК, М., РУССУ, С. *Физика*. 10 класс.
19. МАРИНЧУК, М., РУССУ, С. *Физика*. 11 класс.
20. МАРИНЧУК, М., РУССУ, С., НАКУ, И., ТИРОН Ш. *Физика. Астрономия*. 12 класс.
21. Специальность «Информационные технологии» [Дата обращения: 25.05.2021]. Доступен: <http://phys.usm.md/tehnologii-informationale-licenta-zi/>.

Примечание: Данная работа была выполнена в рамках проекта 20.80009.5007.12 (Program de Stat 2020-2023).

Данные об авторах:

Виктория ВАНГЕЛИЙ, преподаватель физики, Теоретический лицей им. Алеку Руссо.

E-mail: victoria.vanghelii@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1195-8743

Денис НИКА, доктор habilitat физических наук, профессор департамента *Теоретическая физика* им. Ю.Перлина, ведущий научный сотрудник лаборатории *Физика и инженерия наноматериалов* им. Е.Покатилова, факультет физики и инженерии, Молдавский государственный университет.

E-mail: dlrika@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-3082-3118

Prezentat la 26.05.2021