

УДК 378.1

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КУРСАНТОВ НА КАФЕДРЕ ФИЗИКИ

DIRECTIONS OF APPLIED RESEARCH BY CANDIDATES OF THE DEPARTMENT OF PHYSICS

В.С. Михайлов, курсант 2 курса 1 факультета

М.Г. Волкова, к. пс. н., доц., доцент кафедры физики

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны
им. Маршала Советского Союза Л.А. Говорова, Россия, г. Ярославль

Аннотация: Анализируются проблемы организации научной деятельности курсантов первого года обучения. Приводятся конкретные примеры успешных проектов, выполненные курсантами за последние годы. Конкретизируется потенциал дальнейшего развития научного творчества в рамках военного образовательного учреждения.

Ключевые слова: военно-научная работа, электропроводность, магнит, токи Фуко, лабораторное оборудование, эксперимент.

Abstract: The article analyzes the problems of organizing scientific activities of first-year cadets. It provides specific examples of successful projects completed by cadets in recent years. The article also highlights the potential for further development of scientific creativity within a military educational institution.

Keywords: military science, electrical conductivity, magnet, Foucault currents, laboratory equipment, experiment.

Дисциплина «физика», включающая 11 зачетных единиц, в нашем вузе изучается только на первом курсе. Поэтому и взаимодействие курсантов с преподавателями, как в рамках учебной деятельности, так и военно-научной работы, практически ограничивается этим годом, годом психологической, бытовой и профессиональной адаптации курсантов к новым условиям жизни и обучения. Поэтому и организация военно-научной работы на кафедре физики сопряжена с определенными трудностями: недостаточный уровень теоретической подготовки, отсутствие опыта исследовательской деятельности, высокая учебная нагрузка и процесс адаптации, ограниченность ресурсов и инфраструктуры, сложности с выбором актуальной тематики, или просто интересной для самого курсанта, проблемы выбора и взаимодействия с научным руководителем, психологические барьеры и страх перед ответственностью.

В отдельных случаях научно-исследовательская работа на кафедре осуществляется курсантами второго и третьего курса, но чаще, курсанты

продолжают научную работу на кафедрах специализации, в рамках дальнейших курсовых проектов. Поэтому ведущая роль в решении данных проблем и эффективной организации военно-научной работы курсантов, бесспорно, принадлежит преподавателям кафедры [2]. Военно-научные работы курсантов представляют собой важную составляющую образовательного процесса военного вуза. Да, невозможно с первых дней, с первого курса привлечь к данной работе всех курсантов, да и не в этом цель. Основное, это «увидеть» способных, заинтересованных курсантов как можно раньше. В последние десять лет в рамках военно-научной работы на кафедре физики выполняются, во-первых, мини-исследования прикладного характера, во-вторых, курсантами выполняются установки, макеты, модели, которые впоследствии используются на кафедре при проведении учебных занятий в качестве демонстрационного оборудования.

Проанализируем ряд научных работ, выполненных курсантами на кафедре физики в последние годы, представляющих значительный интерес с практической точки зрения.

Качественная оценка удельного сопротивления немагнитных проводящих веществ с помощью токов Фуко (авторы В.С. Михайлов, А.С. Максимов). Впервые вихревые токи обнаружены Д.Ф. Араго в медном диске, который был расположен на оси под вращающейся магнитной стрелкой. За счет вихревых токов диск приходил во вращение. Более подробно вихревые токи были исследованы французским физиком Фуко и названы его именем. Вихревые токи или токи Фуко, возникающие в толще проводника, как и индукционные токи, подчиняются правилу Ленца [3]. Как следствие, на проводники, которые движутся в сильном магнитном поле действуют силы торможения, обусловленные взаимодействием вихревых токов с магнитным полем. В нашей экспериментальной работе мы исследовали падение неодимового магнита сквозь проводящую немагнитную трубку. Движение магнита в трубке рассматривали в рамках законов классической динамики [1]. Пренебрежем иными силами, кроме силы тяжести и силы сопротивления со стороны магнитного поля (1).

$$mg - kv = ma \quad (1)$$

Перейдем к переменной – скорости магнита (2).

$$\dot{v} + \frac{k}{m}v = g \quad (2)$$

Решая данное уравнение, получим выражение, позволяющее определить скорость магнита в любой момент времени (3). Коэффициент α обратно пропорционален массе тела m и прямо пропорционален коэффициенту сопротивления k .

$$v(t) = v_0 e^{-\alpha t} + v_s (1 - e^{-\alpha t}) \quad (3)$$

Установка представляет собой стойку с вертикально ориентированными трубками, выполненными из разных проводящих материалов (рис. 1)



Рисунок 1 - Работа с установкой

В ходе работы измерялось время падения магнита в трубке и вычислялась скорость, с которой магнит движется в трубке (табл. 1).

Таблица 1
Установившееся скорость падения магнита в трубках

	Скорость магнита, м/с										среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cu	0,226	0,262	0,239	0,232	0,232	0,235	0,253	0,237	0,258	0,228	0,240
Al	0,395	0,454	0,376	0,395	0,439	0,359	0,397	0,412	0,396	0,443	0,407

Проведена статистическая обработка результатов измерений скорости и записан диапазон скоростей движения магнита в трубках (4).

$$392,3 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \leq v_{s, \text{ал}} \leq 412,7 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \quad \text{и} \quad 235,9 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \leq v_{s, \text{медь}} \leq 244,1 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \quad (4)$$

Доверительный интервал скоростей записан по абсолютной погрешности, определенной для косвенных измерений. Для меди диапазон

шире (больше абсолютная погрешность), что может быть связано с большим значением скорости движения магнита в медной трубке и большей погрешностью в определении времени падения.

Установившаяся скорость движения магнита будет обратно пропорциональна коэффициенту сопротивления (следствие уравнения 3), удельной электропроводности σ материала проводящей трубки, а, следовательно, прямо пропорциональна удельному сопротивлению ρ материала трубки и массе магнита (5).

$$v_s = \frac{mg}{k} \propto \frac{1}{\sigma} = \rho_{уд.сопр} \quad (5)$$

Анализ эксперимента демонстрирует выполнение теоретического соотношения (5) между установившейся скоростью падения магнита и удельным сопротивлением материала трубки (6).

$$1,61 \leq \frac{v_{s,ал}}{v_{s,медь}} \leq 1,78 \quad \text{и} \quad \frac{\rho_{ал}}{\rho_{медь}} = \frac{0,028 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}}{0,017 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}} = 1,65 \quad (6)$$

Эксперимент позволил оценить скорость падения магнита с удовлетворительной точностью. Зафиксировано, что установившаяся скорость действительно пропорциональна массе магнита (рис 2) и удельному сопротивлению материала трубки.

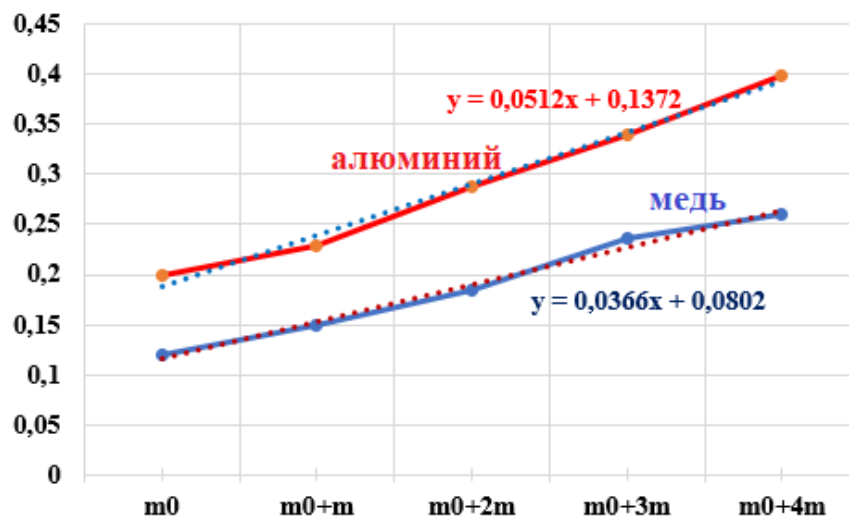


Рисунок 2 – Зависимость скорости движения магнита (м/с) от его массы

Анализ результатов и выводы. Эксперимент позволил оценить скорость падения магнита с удовлетворительной точностью и сформулировать следующие выводы:

1. В результате работы проанализирована модель падения магнитного цилиндра в толстостенной немагнитной проводящей (медной, алюминиевой) трубке.

2. Математическая модель на основе второго закона Ньютона позволила оценить скорость падения, которая с удовлетворительной точностью подтвердилась в эксперименте.

3. Установившаяся скорость падения магнита прямо пропорциональна массе падающего магнита.

4. Установившаяся скорость падения магнита пропорциональна удельному сопротивлению материала трубки (обратно пропорциональна удельной электропроводности).

5. Метод определения установившейся скорости свободного падения магнита сквозь проводящую трубку можно использовать для оценки электропроводности (сопротивления) материала трубки.

6. Результаты опытов не зафиксировали влияния магнитной проницаемости материала трубки на торможение магнита (медь – диамагнетик, алюминий – парамагнетик).

7. Использование медной и алюминиевой трубок более рационально для демонстрации токов Фуко (торможения магнита) вследствие малого удельного сопротивления данных материалов, а, следовательно, большего значения вихревых токов.

Исследование зависимости электропроводности графита от степени твердости (авторы – курсанты Д.И. Рыбаков, А.В. Кононенко). Графит, который входит в состав грифеля простого карандаша, является основой для производства графена – перспективного материала как основы нанoeлектроники, поэтому изучение физических свойств графита, а в частности, грифеля простого карандаша является актуальным. Графит состоит из слоев графена. В отличие от алмаза, он ведет себя как полуметалл, проводящий электрический ток. Графен – это слой атомов углерода, организованных в плотную кристаллическую решетку, толщиной всего в один атом. В целом, графен почти полностью прозрачен, гибок, отлично проводит электричество и тепло, невероятно прочен.

Для исследования использовался набор карандашей Малевич "Graf'Art", 8 штук разной степени твердости (8B, 6B, 4B, 2B, B, HB, H, 2H). Одной из гипотез исследования, выдвигаемых авторами работы, было предположение, что удельное сопротивление грифеля будет пропорционально степени твердости грифеля карандаша, поскольку с повышением твердости увеличивается число и процент примесей [4]. Измерение омического сопротивления проводилось прямым (омметром) и косвенным (амперметр, вольтметр, закон Ома для однородного участка цепи) способами. Сопоставление результатов измерений показало достаточно высокую точность измерений и небольшой процент погрешности. Для расчета удельного сопротивления были выбраны средние значения электрического сопротивления, определенного обоими методами (табл.2).

Таблица 2
Омическое и удельное сопротивление грифелей разной степени твердости

Степень твердости	8В	6В	4В	2В	В	НВ	Н	2Н
R, Ом	2,681	3,228	5,540	6,405	7,179	11,142	30,956	45,068
$\rho \cdot 10^{-5}$, Ом м	5,33	6,31	10,59	12,50	14,09	21,66	60,52	84,43

Анализ результатов позволил сделать ряд выводов:

- 1) Экспериментально подтверждена гипотеза о прямой зависимости удельного сопротивления от твердости карандаша.
- 2) Выявлена резкая смена быстроты изменения удельного сопротивления от степени твердости при переходе границы НВ (рис. 2).

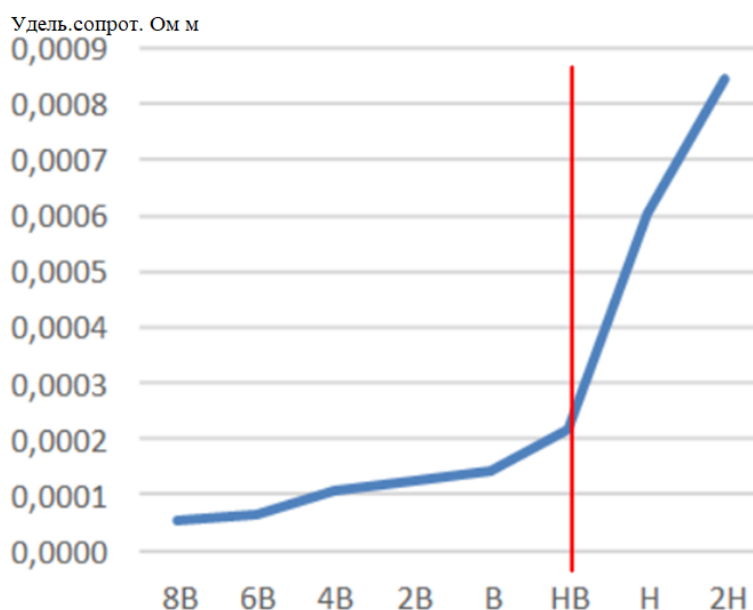


Рисунок 3 - Зависимость удельного сопротивления грифеля от степени твердости

3) Рассчитаны коэффициенты скорости изменения удельного сопротивления грифеля при изменении степени твердости и установлено, что для грифелей повышенной твердости удельное сопротивление с увеличением степени твердости растет практически в 10 раз быстрее, чем у грифелей с пониженной твердостью.

4) Среднее значение удельного сопротивления вполне соответствует удельному сопротивлению проводника с примесями $(5,33 \div 84,43) \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Секундомер под управлением контроллера Arduino (автор — курсант Качка В.Ю.). В данном устройстве основной частью является

Arduino NANO, которая осуществляет отсчет времени с момента нажатия. В устройстве реализовано 4 нажатия кнопки: первого нажатия – осуществляется отсчет времени; втором нажатие – время нажатия с момента первого нажатия фиксируется и переноситься на нижнюю строчку; третьем нажатие – осуществляется остановка отсчета времени; четвёртое нажатие – осуществляется сброс времени. Значение выводится на дисплей (I²C 16*2 Lsd Display;) через аналого-цифровой преобразователь. Функционал данного устройства прост, также для удобства секундомер создан автономным (рис. 4).

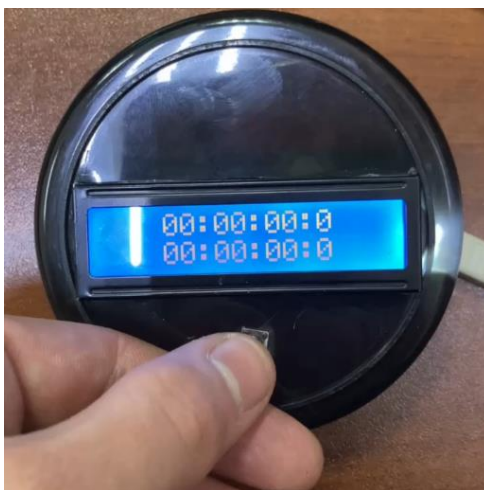


Рисунок 4 - Секундомер под управлением контроллера Arduino

Данный секундомер нашел свое применение в лаборатории на кафедре физики при выполнении следующих лабораторных работ:

1. При выполнении лабораторных работ с использованием машины Атвуда – «Изучение законов прямолинейного движения» и «Определение ускорения свободного падения». Используется два участка движения тела – ускоренное и равномерное. С простым секундомером определяется время равномерного движения, по которому рассчитывается скорость тела. С авторским устройством можно определять и время равноускоренного и время равномерного движений сразу, и сравнивать скорости движения тела для обоих случаев.

2. Выполнение лабораторной работы с физическим маятником по проверке закона сохранения момента импульса. Устройство позволяет зафиксировать время колебаний одного маятника и время колебаний соединенных маятников при выполнении одного задания.

3. Моделирование задачи на закон сохранения момента импульса и его проверка на практическом занятии.

4. Секундомер использовался нами непосредственно при определении времени пролета магнита сквозь проводящую трубку (первая работа, представленная нами выше).

Таким образом, основными целями военно-научных работ, выполняемых на кафедре физики являются:

Развитие исследовательских навыков и способностей к самостоятельному поиску информацией. По сути, это и есть самообразование, то, что добыл «сам» становится знанием.

Формирование способности критически оценивать информацию, особенно, полученную с использованием искусственного интеллекта, преобразовывать в знания и применять их на практике.

Умение распределять время и подготовка к выполнению служебных обязанностей.

Курсанты не только выполняют военно-научные работы, а также участвуют в конкурсах и конференциях различного уровня. Эти мероприятия помогают обмениваться опытом, получать обратную связь от студентов других вузов, преподавателей и представителей научного сообщества, развивать свои профессиональные компетенции.

Список литературы

1. Галимов, Д. Г. Демонстрационный опыт по теме "Явление электромагнитной индукции" / Д. Г. Галимов // Учебный эксперимент в образовании. – 2019. – № 1(89). – С. 50-54.
2. К вопросу о научно-исследовательской работе курсантов в военно-научном кружке на кафедре института / Е. С. Терещенко, С. Н. Михайлец, Е. В. Литая, Д. Ю. Фадеев // Омский научный вестник. – 2014. – № 5(132). – С. 186-189.
3. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. — 18-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2010 — 560 с.
4. Рыбаков, Д. И. Электропроводность неметаллических проводящих материалов на примере графита / Д. И. Рыбаков, А. В. Кононенко // Физика, техника и технология сложных систем : Тезисы докладов конференции, Ярославль, 22–30 апреля 2024 года. – Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2025. – С. 17-18. – EDN MOTSAU.