

## ДОМАШНІЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИНАМІКИ ТВЕРДОГО ТІЛА В КУРСІ ФІЗИКИ ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Сергій ПОДЛАСОВ ✉

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна  
[s.podlasov@kpi.ua](mailto:s.podlasov@kpi.ua)  
<https://orcid.org/0000-0002-3947-4401>

Ольга ДОЛЯНІВСЬКА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна  
[dow2@i.ua](mailto:dow2@i.ua)  
<https://orcid.org/0000-0001-8396-2894>

Олексій МАТВІЙЧУК ✉

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна  
[o.matviichuk@kpi.ua](mailto:o.matviichuk@kpi.ua)  
<https://orcid.org/0000-0002-4732-9677>

### АНОТАЦІЯ

Розглянуто методику проведення домашнього натурального експерименту по вивченню плоского руху твердого тіла на прикладі саморобного аналога маятника Максвелла.

**Формулювання проблеми.** Фізика є наукою експериментальною і тому проведення студентами експериментальних досліджень є невід'ємною складовою методики її навчання. В ході виконання досліджень студенти не тільки перевіряють наслідки законів фізики, але й набувають експериментаторські вміння. В умовах дистанційного навчання реальний експеримент може здійснюватися студентами тільки в домашніх умовах з використанням доступного обладнання. Прикладом такого дослідження може бути вивчення руху саморобного аналога маятника Максвелла. Його виконання дозволяє студентам краще зрозуміти теоретичні концепції, набути уміння підготовки і проведення реального експерименту, а також обробки одержаних результатів.

**Матеріали і методи.** Дослідження ґрунтується на аналізі програми курсу фізики для студентів бакалаврату технічного університету, огляді літературних джерел, присвячених темі дослідження, експериментам по вивченню динаміки плоского руху твердого тіла та задач курсу фізики з цієї теми та методам і засобам вимірювання в домашніх умовах механічного руху невеликої тривалості.

**Результати.** У якості маятника Максвелла може бути використана іграшка Йо-Йо, або ж її саморобний аналог. В роботі продемонстровані конструкції маятників, які студенти НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» виготовляли для проведення досліджень. Одержані дані дозволяють студентам одержати експериментальне підтвердження законів динаміки твердого тіла.

**Висновки.** Виготовлення аналога маятника Максвелла та проведення експерименту за його допомогою дозволяє студентам набути певні експериментаторські уміння й навчитися опрацьовувати результати реального експерименту із застосуванням законів динаміки твердого тіла. Виготовлене обладнання може бути використано як для проведення лабораторного дослідження в домашніх умовах, так і в якості основи експериментальних задач. На думку студентів проведення домашніх дослідів є цікавим і корисним для покращення розуміння понять динаміки твердого тіла.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** домашній експеримент; маятник Максвелла, аналіз експерименту.

Для цитування:	Подласов С., Долянівська О., Матвійчук О. Домашній експеримент при вивченні динаміки твердого тіла в курсі фізики технічного університету. <i>Фізико-математична освіта</i> , 2024. Том 39. № 1. С. 43-48. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i1-06
	Podlasov, S., Dolianovska, O., & Matviichuk, O. (2024). Domashnii eksperyment pry vuvchenni dynamiky tverdogo tila v kursy fizyky tekhnichnoho universytetu. <i>Fizyko-matematychna osvita</i> , 39(1), 43-48. <a href="https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i1-06">https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i1-06</a>
For citation:	Podlasov, S., Dolianovska, O., & Matviichuk, O. (2024). Formation of the concept of flat arrangement of points using means of metric geometry in the study of metric spaces. <i>Physical and Mathematical Education</i> , 39(1), 43-48. <a href="https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i1-06">https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i1-06</a>
	Podlasov, S., Dolianovska, O., & Matviichuk, O. (2024). Domashnii eksperyment pry vuvchenni dynamiky tverdogo tila v kursy fizyky tekhnichnoho universytetu [Rigid body home experiment in a physics course at a technical university]. <i>Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education</i> , 39(1), 43-48. <a href="https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i1-06">https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i1-06</a>

## RIGID BODY HOME EXPERIMENT IN A PHYSICS COURSE AT A TECHNICAL UNIVERSITY

Serhii PODLASOV ✉

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

s.podlasov@kpi.ua

<https://orcid.org/0000-0002-3947-4401>

OIha DOLIANOVSKA

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

dow2@i.ua

<https://orcid.org/0000-0001-8396-2894>

Oleksii MATVIICHUK

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

o.matviychuk@kpi.ua

<https://orcid.org/0000-0002-4732-9677>

---

### ABSTRACT

The methodology of conducting a home natural experiment to study the plane motion of a rigid body using the example of a homemade analog of Maxwell's pendulum is considered.

**Formulation of the problem.** Physics is an experimental science; therefore, student engagement in experimental research is integral to its teaching methodology. During the execution of experiments, students verify the consequences of the laws of physics and acquire practical experimental skills. Students can only conduct natural experiments at home using readily available equipment in distance learning. An example of such research is the study of the motion of a homemade analog of Maxwell's pendulum. Its execution allows students to gain a better understanding of theoretical concepts, develop skills in preparing and conducting natural experiments, and analyze the obtained results.

**Materials and methods.** The study is based on the analysis of the curriculum of the physics course for undergraduate students of a technical university, a review of the literature on the research topic, experiments on the dynamics of the plane motion of a rigid body, and tasks of the physics course on this topic—also, methods and means of measuring short-term mechanical motion at home.

**Results.** A Yo-Yo toy or its homemade analog can be used as a Maxwell's pendulum. The paper demonstrates the design of pendulums that NTUU "KPI" students created to conduct the research. The obtained data enable students to experimentally confirm the laws of rigid body dynamics.

**Conclusions.** Creating Maxwell's pendulum analog and conducting an experiment with its help allows students to acquire specific experimental skills and learn to work out the results of a natural experiment using the laws of rigid body dynamics. The constructed device can be used for laboratory research at home and as a basis for experimental tasks. According to the students, conducting experiments at home is exciting and helpful in improving their understanding of the concepts of rigid body dynamics.

---

**KEYWORDS:** home experiment; Maxwell's pendulum; analysis of the experiment.

---

---

### ВСТУП

**Постановка проблеми.** Вимушене дистанційне навчання унеможливило проведення студентами реальних експериментальних досліджень у навчальній фізичній лабораторії з використанням промислового обладнання. У закладах вищої освіти реальні лабораторні роботи замінюють відеозаписами експериментів, віртуальними лабораторними роботами або ж обчислювальним експериментом. Звичайно, такі форми роботи надають певні уявлення про застосування законів фізики для аналізу реальних явищ та процесів, однак це уявлення спостерігача, а не експериментатора, вони не дозволяють студентам на власному досвіді пересвідчитися у виконанні законів фізики і не забезпечують набуття ними умінь підготовки, проведення та опрацювання результатів досліджень, які можуть виникнути в реальних умовах. Тому актуальним постає розробка та використання в навчальному процесі завдань, які б дозволяли проводити реальні експериментальні дослідження в домашніх умовах.

**Аналіз актуальних досліджень.** Різноманітні домашні експерименти з фізики широко висвітлені у науково-методичній літературі та підручниках для системи шкільної освіти та педагогічних ЗВО. Що ж стосується домашніх експериментів у системі вищої технічної освіти, то в літературі практично відсутні описання домашніх експериментів з використанням саморобного обладнання. Виняток складають описання дослідів, які можна проводити з використанням смартфона (Delabre, 2022), (Здешиц та ін., 2020), зокрема, для експериментального вивчення елементів динаміки твердого тіла. Так, наприклад, сигнал гіроскопа, вмонтованого у смартфон, дозволяє досліджувати обертальний рух, відтак, обчислити момент інерції за кутовою швидкістю його обертання навколо однієї з сторін (Kaps & Stallmach, 2020; Здешиц & Здешиц, 2022), або ж при здійсненні коливань на біфілярному підвісі (<https://st.lnl.gov/sci-ed/Physics-with-Phones/moment-inertia>). Цей же сигнал можна використати для визначення моменту інерції пустотілого циліндра (Sabila et al., 2021). У роботі (Wheatland et al., 2021) розглянуто вільний рух смартфона. Аналіз цього руху дозволяє одержати підтвердження законів збереження енергій та моменту імпульсу.

Одним з прикладів застосування законів динаміки твердого тіла є маятник Максвелла. Теоретичні основи описання його руху наводяться у деяких підручниках фізики та теоретичної механіки, а також у наукових статтях, наприклад (Markeev, 2017). Крім того, закони, яким підпорядкований рух маятника Максвелла, покладені в основу задач (Гаркуша, 2003), задача 1.249 та лабораторних робіт із застосуванням промислового обладнання (Клапченко, 2012).

**Мета статті** полягає в обґрунтуванні доцільності використання саморобного обладнання для проведення домашнього експерименту при вивченні теми «Динаміка твердого тіла» студентами технічного університету в умовах дистанційного навчання.

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретичною основою дослідження є розділи курсу загальної фізики, в яких вивчається плоский рух твердого тіла та основні поняття динаміки твердого тіла.

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження ґрунтується на аналізі програм курсу загальної фізики для бакалаврів інженерних спеціальностей, огляді методичних вказівок до лабораторних робіт з розділу «Механіка» курсу фізики в технічних університетах, огляді літературних джерел по темі дослідження, опитуванні студентів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При аудиторному навчанні експериментальне дослідження динаміки плоского руху твердого тіла студенти проводять з використанням маятника Максвелла (рис. 1). Свідоме виконання цього дослідження потребує від студента знань та розуміння таких понять як момент сили, момент інерції, момент імпульсу, кінетична та потенціальна енергія, а також умінь застосувати їх на практиці. Оскільки динаміка твердого тіла не вивчається у школі, то зазначені вище поняття є новими для студентів першого курсу. Тому виконання ними лабораторної роботи по вивченню руху маятника Максвелла повинно суттєво вплинути на інтеріоризацію понять цієї теми.



Рис. 1. Маятник Максвелла. НВП «Учбова техніка»

Джерело: <https://www.uchtech.com.ua/ua/fm/fm12.html>

В умовах дистанційного навчання, коли виконання робіт по вивченню законів динаміки твердого тіла з використанням промислового лабораторного обладнання неможливе, студентам можна запропонувати провести дослідження, скориставшись саморобним аналогом маятника Максвелла, чи іграшкою Йо-Йо.

В осінньому семестрі 2023/24 навчального року студентам Інституту теплової та атомної енергетики та Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» було запропоновано виконати дослідження руху саморобного маятника Максвелла. На рис. 2 показані деякі конструкції «маятників», запропоновані студентами – порожні банки, або набори CD-дисків.



Рис. 2. Варіанти саморобних конструкцій маятника Максвелла

Джерело: авторська розробка.

Момент інерції маятника Максвелла визначається за часом  $t$  його опускання на висоту  $h$  за формулою

$$I = mr^2 \left( \frac{gt^2}{2h} - 1 \right), \quad (1)$$

або ж

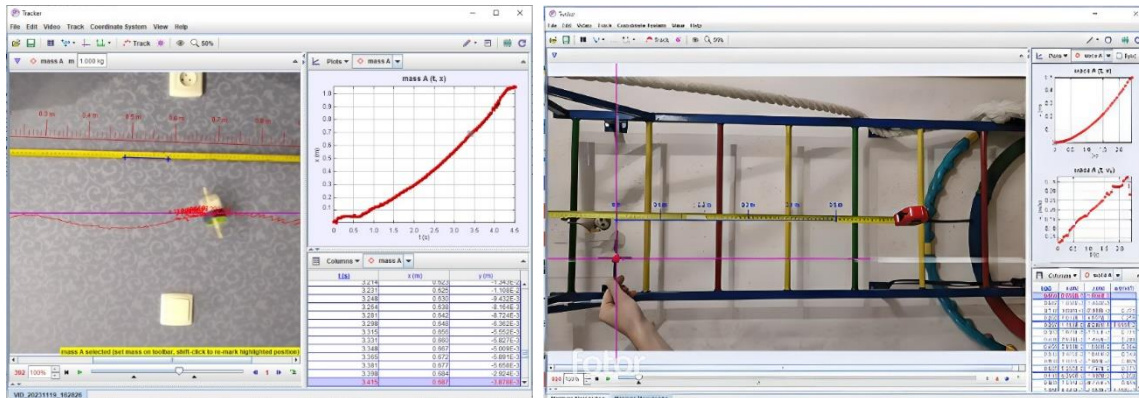
$$I = mr^2 \left( \frac{g}{a} - 1 \right). \quad (2)$$

де  $m$  – маса маятника,  $r$  – радіус осі.

У методичних вказівках до виконання лабораторної роботи по дослідженню руху маятник Максвелла

пропонують два методи визначення його моменту інерції: 1) побудувати графік  $\frac{gt^2}{2} = f(h)$ , який являє собою пряму, кутловий коефіцієнт якої пропорційний до моменту інерції; 2) за виміряним часом опускання на певну висоту спочатку обчислити прискорення і далі скористатися рівнянням (2) для визначення моменту інерції.

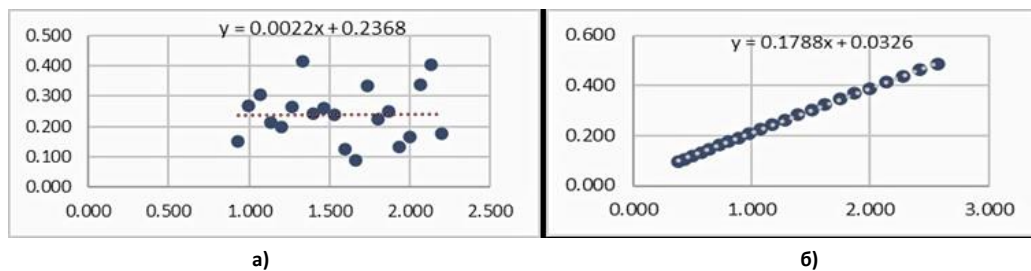
При використанні обладнання НВП "Учбова техніка" або аналогічного вимірювання часу здійснюється електронним секундоміром, який запускається і зупиняється автоматично, що забезпечує достатньо високу точність вимірювань, навіть при невеликих  $h$ . У домашньому експерименті час опускання маятника, який студенти могли б вимірювати, наприклад, за допомогою секундоміра у смартфоні, може виявитися не зручним і мати значні похибки. Тому, більш доцільно провести відеозйомку руху маятника (див., наприклад, [https://youtube.com/shorts/\\_pwJasCFZnw](https://youtube.com/shorts/_pwJasCFZnw), <https://youtube.com/shorts/qMOKvu8iCGc>) і одержані результати опрацювати, використавши програму аналізу механічного руху Tracker (<https://physlets.org/tracker/>), (Eadkhong, 2022; Bartošovič L. 2022) детальна інструкція по використанню якої розміщена за адресою [https://phys.ipro.kubg.edu.ua/?page\\_id=4727](https://phys.ipro.kubg.edu.ua/?page_id=4727). Приклади обробки відеофайлів руху саморобного маятника Максвелла показані на рис. 3.



а) б) Рис. 3. Приклади обробки відеофайлів в програмі Tracker

Джерело: авторська розробка.

У програмі Tracker передбачена можливість одержання значення прискорення за результатами вимірів залежності координати від часу. Однак ці дані не варто використовувати, оскільки прискорення визначається за малою різницею великих чисел, що призводить до суттєвого розкиду обчислених величин (рис. 4а). Більш доцільно будувати графік залежності  $h = f(t^2/2)$  і, використавши метод найменших квадратів, за нахилом якої визначити прискорення, або ж скористатися побудовою графіка  $h = f(t^2/2)$  програмою MS Excel, на якому виводиться рівняння прямої, яка інтерпретує експериментальні результати (рис. 4б).



а) б) Рис. 4  
а) залежність від часу прискорення, обчисленого у програмі Tracker;  
б) графік  $h = f(t^2/2)$ , побудований MS Excel.

Джерело: авторська розробка.

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В осінньому семестрі 2023/24 навчального року студентам Інституту атомної та теплової енергетики та Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (69 осіб) було запропоновано сконструювати, виготовити та провести вдома дослідження руху аналога маятника Максвелла і на основі одержаних результатів обчислити момент його інерції. Незважаючи на можливість одержання додаткових заохочувальних балів до рейтингу, завдання виконали 31 студент ( $\approx 45\%$ ). Деякі з запропонованих конструкцій «маятників» представлені вище. Переважна більшість студентів аналізувала рух маятника за допомогою програми Tracker, троє студентів використовували секундомір смартфона для вимірювань часу. Масу виготовлених маятників студенти визначали за допомогою побутових електронних вагів.

Звіт про виконання роботи включав: фотографію виготовленого «маятника», відеофайл руху «маятника», файл проекту програми Tracker (розширення .trj) та копію сторінки обробки даних.

Після завершення терміну здачі результатів експерименту було проведено опитування. Перше запитання стосувалося студентів, котрі не виконали завдання:

- 1) З якої причини не було виконано завдання?

Серед причин не виконання завдання основними були: а) відсутність технічних можливостей виготовлення обладнання та проведення вимірювань (23 %); б) брак часу (60 %); в) інші причини, або ж відповідь не була дана.

Усі інші запитання стосувалися виконання завдання.

2) Скільки часу знадобилося вам для виготовлення маятника, проведення дослідів та обробки результатів вимірювань?

Час, вказаний студентами коливався від 6 до 10 годин.

3) Які ускладнення виникли у вас при виконання завдання?

Як з'ясувалося, основним ускладненням при підготовці експерименту у 50 % студентів полягало у центруванні маятника (зауважимо, що на запитання: «Як побудовою визначити положення центра кола?», яке ми ставили студентам різних груп, правильну відповідь змогли дати у середньому тільки 15 % з них).

4) Чи було вам цікаво проводити експеримент?

100 % студентів відповіли «Так».

Розподіл відповідей на запитання:

5) Чи вважаєте ви корисним і потрібним проведення домашніх експериментів?

6) Проведення домашніх експериментів покращило розуміння вами законів фізики?

показаний на рис. 5.

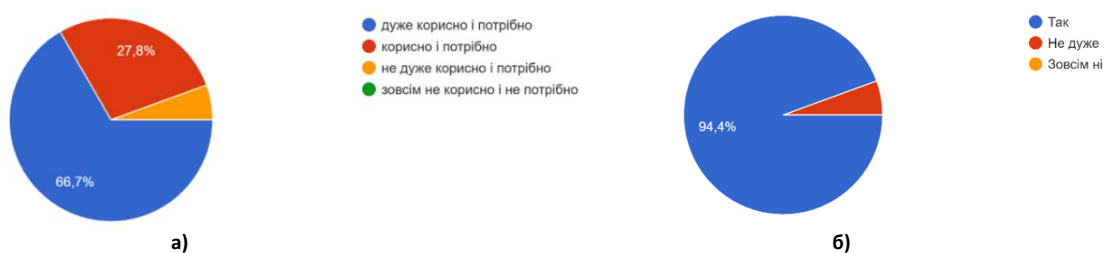


Рис. 5. Відповіді студентів на запитання:  
а) Чи вважаєте ви корисним і потрібним проведення домашніх експериментів?  
б) Проведення домашніх експериментів покращило розуміння вами законів фізики?

Джерело: авторська розробка.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Виконання домашніх досліджень не тільки сприяє більш глибокому розумінню студентами основних понять і концепцій фізики, але й дозволяє їм в умовах дистанційного навчання набувати початковий досвід конструювання обладнання, вміння готувати та виконувати експеримент, обробляти його результати та оформлювати результати дослідження, що є важливими складовими професійної підготовки кваліфікованого інженера.

2. Проведення домашніх експериментів студентами можна використати як для формулювання завдань лабораторного дослідження, так і умов експериментальних задач.

3. Як засвідчили результати опитування, студенти, в цілому, схвально відносяться до виконання домашніх дослідів.

4. Незважаючи на важливість та корисність проведення домашніх експериментів, їх застосування повинно бути поміркованим, оскільки далеко не всі студенти готові і здатні до їх проведення. Крім того, треба враховувати і витрати часу, необхідні для виконання завдань.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо в розширенні кола домашніх експериментів, які можуть пропонуватися студентам в якості лабораторних робіт в умовах дистанційного навчання та експериментальних задач.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Bartošovič, L. (2022). Virtual Laboratory Exercise as One of the Forms of Distance Education at Science Universities. *AIP Conference Proceedings*, 2458, 030002. <https://doi.org/10.1063/5.0078278>.
- Delabre, U. (2022). *Smartphonique - 2e éd.: Faites de votre smartphone un labo de physique*. URL: <https://www.amazon.com/Smartphonique-Faites-votre-smartphone-physique/dp/2100840991>.
- Eadkhong, T., Sirisathitkul, C., & Danworaphong, S. (2022). Video analysis of one-dimensional motion and collision for distance learning laboratory. *Physics Education*, 57 (5), 055006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac72e4>.
- Kaps, A., & Stallmach, F. (2020). Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone. *The Physics Teacher*, 58(3), 216-217. <https://doi.org/10.1119/1.5145423>.
- Markeev, A.P. (2017). Dynamics of Maxwell's pendulum. *Dokl. Phys.*, 62, 228-232. <https://doi.org/10.1134/S1028335817040140>.
- Sabila, Ya., Heru, K., Desi, R., Aisha, A., & Hesti, A. (2021) Utilization of the phyphox application (physical phone experiment) to calculate the moment of inertia of hollow cylinders. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, 10(2) p.231-240. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.9237>.
- Wheatland, M. S., Murphy, T., Naoumenko, D., van Schijndel, D., & Katsifis, G. (2021). The mobile phone as a free-rotation laboratory. *Am. J. Phys.*, 89(4), 342-348. <https://doi.org/10.1119/10.0003380>.
- Гаркуша, І. П., Горбачук, І. Т., Курінний, В. П., Кучерук, І. М., & Певзнер, М. Ш. (2003). *Загальний курс фізики: Збірник задач*. Київ, Техніка.
- Здешиц, В. М., & Здешиц, А. В. (2022). *Використання технології BYOD в освітньому процесі в умовах дистанційного навчання студентів-фізиків: навч. посібник*. Кривий Ріг: Літерія.

10. Здешиц, В.М., Здешиц, А.В., & Прихожа, Ю.О. (2020). Використання технології BYOD під час виконання лабораторних робіт з фізики. *Фізико-математична освіта*, 3(25), 2, 43-49. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-027-1-008>.
11. Клапченко, В. І., Азнаурян, І. О., Бурдейна, Н. Б., Григораш, Ю. І., Дугінов, В. Є., Колесник, О. Ю., Краснянський, Г. Ю., Панова, О. В., Тарасевич, В. І., & Бесараб, О. М. (2012). *Фізика. Лабораторний практикум. Базовий цикл: навчальний посібник*. Київ. КНУБА. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/items/41ff2921-0b6c-4ed9-a143-8c9d78017d0f>.

---

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

---

1. Bartošovič, L. (2022). Virtual Laboratory Exercise as One of the Forms of Distance Education at Science Universities. *AIP Conference Proceedings*, 2458, 030002. <https://doi.org/10.1063/5.0078278>.
2. Delabre, U. (2022). *Smartphonique - 2e éd.: Faites de votre smartphone un labo de physique*. URL: <https://www.amazon.com/Smartphonique-Faites-votre-smartphone-physique/dp/2100840991>.
3. Eadkhong, T., Sirisathitkul, C., & Danworaphong, S. (2022). Video analysis of one-dimensional motion and collision for distance learning laboratory. *Physics Education*, 57 (5), 055006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac72e4>.
4. Kaps, A., & Stallmach, F. (2020). Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone. *The Physics Teacher*, 58(3), 216-217. <https://doi.org/10.1119/1.5145423>.
5. Markeev, A.P. (2017). Dynamics of Maxwell's pendulum. *Dokl. Phys.*, 62, 228-232. <https://doi.org/10.1134/S1028335817040140>.
6. Sabila, Ya., Heru, K., Desi, R., Aisha, A., & Hesti, A. (2021) Utilization of the phyphox application (physical phone experiment) to calculate the moment of inertia of hollow cylinders. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, 10(2) p.231-240. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.9237>.
7. Wheatland, M. S., Murphy, T., Naoumenko, D., van Schijndel, D., & Katsifis, G. (2021). The mobile phone as a free-rotation laboratory. *Am. J. Phys.*, 89(4), 342-348. <https://doi.org/10.1119/10.0003380>.
8. Harkusha, I. P., Horbachuk, I. T., Kurinnyi, V. P., Kucheruk, I. M., Pevzner, M. Sh. (2003). *Zahalnyi kurs fizyky: Zbirnyk zadach. [General course of physics: Problems]*. Kyiv, Tekhnika. (in Ukrainian).
9. Zdeshchyts, V. M., & Zdeshchyts, A. V. (2022). *Vykorystannia tekhnolohii BYOD v osvithomu protsesi v umovakh dystantsiinoho navchannia studentiv-fizykyv [The use of BYOD technology in the educational process in the conditions of distance learning of physics students]*. Kryvyi Rih: Literia. (in Ukrainian).
10. Zdeshchyts, V. M., Zdeshchyts, A. V., & Prikhozha, Yu. O. (2020). *Vykorystannia tekhnolohii BYOD pid chas vykonannia laboratornykh robit z fizyky. [Use of BYOD technology during frontal laboratory work in physics]*. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 3(25), 2, 43-49. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-027-1-008>. (in Ukrainian).
11. Klapchenko, V. I., Aznaurian, I. O., Burdeina, N. B., Hryhorash, Yu. I., Duhinov, V. Ye., Kolesnyk, O. Yu., Krasnianskyi, H. Yu., Panova, O. V., Tarasevych, V. I., & Besarab, O. M. (2012). *Fizyka. Laboratornyi praktykum. Bazovyi tsykl: navchalnyi posibnyk. [Physics. Laboratory practice. Basic cycle: study guide]*. Kyiv. KNUBA. <https://repository.knuba.edu.ua/items/41ff2921-0b6c-4ed9-a143-8c9d78017d0f>. (in Ukrainian).

Матеріал надійшов до редакції 09.01.2024р.

