

## PHYSICS AND MATHS

# Визначення моменту інерції тіл за допомогою новітнього обладнання «PHYWE»

Слюсаренко Віктор Володимирович<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> кандидат педагогічних наук, вчитель фізики та інформатики;  
Ліцей «Гармонія» Знам'янської міської ради Кіровоградської області; Україна

**Анотація.** У даній статті розглянуто виконання фізичного експерименту щодо визначення моменту інерції тіл за допомогою новітнього обладнання від німецького виробника PHYWE. Пропонується вашій увазі методичні рекомендації щодо виконання двох лабораторних робіт «Вивчення моменту інерції та кутового прискорення за допомогою шарнірної опори» та «Момент інерції різних тіл. Теорема Штейнера».

**Ключові слова:** PHYWE, момент інерції, шарнірна основа, центр ваги, вісь обертання, крутильні коливання та коефіцієнт жорсткості пружини.

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** В умовах стрімкого розвитку науки та вдосконалення фізичного експерименту виникає проблема наповнення застарілої матеріальної експериментальної бази навчальних закладів. Найявне застаріле фізичне обладнання не в змозі забезпечити успішне засвоєння новітніх знань. То ж в останні роки різні виробники обладнань випускають вдосконаленні і покращені як згідно ергономічних вимог, так і вимог, які ставлять здобувачі освіти в сучасних умовах сприймання нової інформації. Вирішенню вищезазначеного питання у значній мірі сприяє новітнє обладнання німецького виробника «PHYWE», який вже чимало років є одним із головним постачальників новітнього фізичного обладнання, дозволяє покращити ситуацію з комплектацією фізичних кабінетів навчальних закладів. Практична спрямованість освітнього процесу підвищує мотивацію тих, хто вивчає предмети природничо-наукового циклу, формує навички навчально-дослідницької діяльності, розкриває творчі здібності.

**Аналіз актуальних досліджень і публікацій.**  
П. С. Атаманчук, Л. Ю. Благодаренко, О. І. Бугайов,  
В. П. Вовкотруб, В. Ф. Заболотний, О. І. Ляшенко,

## PHYSICS AND MATHS

В. Ф. Савченко, М. І. Садовий, О. М. Трифонова, М. І. Шут та інші вчені у своїх наукових працях розглядали питання вдосконалення навчального фізичного експерименту. Вони довели, що шкільний фізичний експеримент сприяє глибшому й усебічному засвоєнню програмного матеріалу, допомагає учням ознайомитись з принципами вимірювання фізичних величин, оволодіти способами і технікою вимірювань, а також методами аналізу похибок тощо. Аналіз багатьох наукових праць дає досить широке коло відповідей. Найбільш поширеними є такі, які свідчать, що експеримент дозволяє показати явища, що вивчаються та сприймаються суб'єктами навчання. У такому вигляді створюється необхідна експериментальна база для вивчення конкретних фізичних явищ, ілюстрації встановлених у науці законів і закономірностей на доступному для учнів рівні розвитку [1].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним із основних напрямів розвитку навчального фізичного експерименту має стати модернізація наявного традиційного обладнання для проведення реального експерименту та застосування можливостей засобів сучасної цифрової електроніки, репрезентованих на ринку побутового обладнання й вимірювальної техніки.

Порівняно з аналоговими приладами цифрові мають певні переваги. Насамперед – це висока точність, широкий діапазон вимірювань, висока швидкодія, отримання результатів вимірювання у зручній для зчитування формі, можливість цифрового перетворення та введення вимірювальної інформації в комп'ютер, автоматичне калібрування, автоматизація процесу вимірювання. Недоліками цифрових приладів є складність їхньої будови, порівняно висока вартість і менша, ніж у відповідних аналогових приладів, надійність [2].

Однак для освітнього процесу важлива не сама цифрова технологія, а те, наскільки її впровадження сприяє досягненню саме освітніх цілей. Дидактичні вимоги до використання вимірювальних приладів для фізичного навчального експерименту полягають у тому, що для учня має бути зрозумілою будова та принцип дії приладу, він повинен уміти визначати ціну поділки, зчитувати покази та оцінювати похибку вимірювань. У разі аналогових приладів учні порівняно легко вивчають їхню будову та засвоюють принцип дії. Однак значно складніше їм вдається визначити ціну поділки та зняти покази зі шкали приладу. Як засвідчує практика, із цифровими приладами ситуація інша.

Принцип дії та будова цифрових вимірювальних приладів є для школярів настільки складними, що з учнями немає сенсу розглядати ці питання взагалі. Зняття ж показів із цифрових

## PHYSICS AND MATHS

приладів не викликає в учнів труднощів. А питання оцінювання похибок вимірювання викликає труднощі у використанні як аналогових, так і цифрових приладів [3].

Очевидно, що кожен із вказаних типів приладів має як істотні переваги порівняно з іншими, так і суттєві недоліки. Тому вдосконалення навчального експерименту з фізики має відбуватися за допомогою раціонального поєднання традиційних і цифрових засобів. Одним із прикладів використання новітнього обладнання німецького виробника «PHYWE» є наступні лабораторні роботи «Вивчення моменту інерції та кутового прискорення за допомогою шарнірної опори» та «Момент інерції різних тіл. Теорема Штейнера».

### **Лабораторна робота «Вивчення моменту інерції та кутового прискорення за допомогою шарнірної опори»**

**Мета роботи:** Визначити залежність моменту інерції від маси і відстані від осі обертання для диску, стрижня і матеріальної точки.

**Обладнання:** тринога, шарнірна основа, інерціальна штанга, диск з кутовою розміткою, додатковий вказівник для диску, з'єднувальний провідник довжиною 1000 мм, світловий бар'єр з лічильником, перехідник BNC/роз'єднувач 4 мм, конденсатор 100 нФ/250 В, джерело струму 5 В/2,4 А, прицезійний шків, прямокутний затискач, стрижень прямокутного перерізу довжиною 400 мм, настільний затискач, нитка довжиною 200 м, круглий рівень, вантажі з розрізами (1, 10 та 50 г), тримач для вантажу (1 г), пусковий пристрій, рулетка довжиною 2 м.

### **Вказівки до виконання роботи**

**Досліджувані фізичні поняття:** кутова швидкість, обертовий рух, момент інерції диска, момент інерції стрижня та момент інерції матеріальної точки.

Кутова швидкість – це фізична величина, яка рівна відношенню зміни кута при обертанні до відрізка часу, за який

ця зміна відбулася

$$w = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Обертовий рух – це рух, при якому одна точка механічної системи, що називається центром обертання, залишається нерухомою.

Момент інерції – скалярна фізична величина, міра інертності тіл, що обертаються навколо осі. Подібно до того, як маса тіла є мірою його інертності в поступальному русі. Характеризується розподілом мас у тілі: момент інерції дорівнює сумі добутків елементарних мас на квадрат їх відстаней до базової (точки, прямої або площини): одиниця

## PHYSICS AND MATHS

вимірювання в СІ - 1 кг м.

Момент інерції диску рівний  $J = \frac{mr^2}{2}$ , де  $m$  - маса диску,  $r$  - його радіус. Момент інерції прямого стрижня у випадку, коли вісь обертання перпендикулярна до осі стрижня і

проходить через його центр мас, рівна  $J = \frac{ml^2}{12}$ , де  $l$  - довжина стрижня. Якщо ж вісь обертання перпендикулярна до стрижня і

проходить через його кінець, то момент інерції рівний  $J = \frac{ml^2}{3}$ . Момент інерції матеріальної точки визначається за формулою  $J = mr^2$ , де  $r$  - відстань від точки до вісі обертання [4].

**Принцип роботи:** Момент інерції досліджуваних тіл визначається із закону збереження моменту імпульсу, шляхом вимірювання кутового прискорення.

### Хід роботи

1. Зберіть установку як показано на рис. 1. Розмістіть світловий бар'єр таким чином, щоб кінець диска був розміщений перпендикулярно до пучка світла.

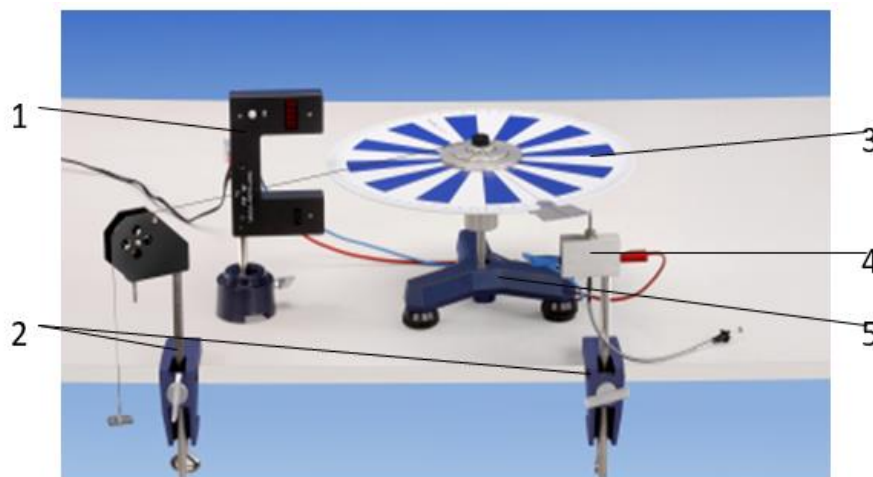



Рисунок 1

**Експериментальна установка:** 1 - світловий бар'єр з датчиком, 2 - настільні затискачі, 3 - диск з кутовою розміткою, 4 - пусковий пристрій, 5 - тринога

2. Виміряйте кутову швидкість. Для цього спочатку встановіть перемикач світлового бар'єра в положення  та натисніть кнопку «Reset». Розімкніть тримач. За допомогою

## PHYSICS AND MATHS

світлового бар'єра виміряти початковий час затемнення. При русі установки натисніть кнопку «Reset» після того як швидкість екрану досягне свого кінцевого значення, але до того як перетнув світловий бар'єр.

3. Визначте час, при цьому використовуйте параметр  $\Delta t$  з

формули  $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ , де  $\Delta\varphi$  – кут заслінки обертового диска.

4. Тепер визначте кутове прискорення. Повторіть дослід за тих умов, що і при визначенні кутової швидкості. Встановіть перемикач світлового бар'єра в положення  $\uparrow \square \uparrow$  та натисніть

кнопку «Reset». З формули  $\alpha = \frac{\omega}{t}$  знайдіть прискорення [5].

Після виконання лабораторної роботи здобувачам освіти можна запропонувати відповіді на такі запитання:

- 1) Що називається моментом інерції твердого тіла?
- 2) Які одиниці вимірювання моменту інерції?
- 3) Яку фізичну величину називають кутовою швидкістю? Яка її розмірність?

### **Лабораторна робота «Момент інерції різних тіл. Теорема Штейнера»**

**Мета роботи:** Визначити кутовий коефіцієнт пружності спіральної пружини; визначити залежність моменту інерції круглого диска від відстані між віссю обертання до центра маси.

**Обладнання:** вісь обертання з часовою пружиною, диск з отворами по діаметру, динамометр (2 Н), джерело струму 5 В/2,4 А, світловий бар'єр з лічильником, тринога, циліндрична опора, лінійка.

#### **Вказівки до виконання роботи**

**Досліджувані фізичні поняття:** тверде тіло, момент інерції, центр ваги, вісь обертання, крутильні коливання та коефіцієнт жорсткості пружини.

Тверде тіло – це агрегатний стан речовини, що характеризується стабільністю форми і характером теплового руху атомів, які здійснюють малі коливання біля положень рівноваги. Абсолютно тверде тіло – це тіло, яке ні за яких умов не деформується і за всіх умов відстань між двома точками (або точніше між двома частинами тіла залишається постійною.

Момент інерції – скалярна фізична величина, міра інертності при обертальному русі тіла навколо осі, подібно до того, як маса тіла є мірою його інертності в поступальному русі. Одиниця вимірювання в СІ – 1 кг м. Центром маси тіла називається точка, відносно якої сумарний момент сил ваги, що

## PHYSICS AND MATHS

діють на систему, дорівнює нулю [4].

Обертальним рухом твердого тіла називають такий рух, при якому залишаються нерухомими всі точки прямої, що називається віссю обертання. Якщо вісь обертання закріплена, то говорять про обертання твердого тіла щодо нерухомої осі.

Коефіцієнт жорсткості - це характеристика здатності стрижня або пружини зазнавати пружної деформації під дією навантаження, яка пов'язує між собою силу пружності та абсолютне видовження при одновісній пружній деформації за

$$k = \frac{F}{x} = \frac{mg}{x} .$$

формулою:

Теорема Штейнера: момент інерції тіла  $I_z$  відносно довільної осі дорівнює сумі моменту інерції цього тіла  $I_{\bar{n}o}$  відносно осі, що проходить через центр маси тіла паралельно до осі, що розглядається та добутку маси тіла  $m$  на квадрат відстані  $d$  між осями:  $I_z = I_{\bar{n}o} + md^2$  [6].

**Принцип роботи:** Вимірюються періоди коливань диска, осі якого розташовані в різних точках його діаметрах. Визначається залежність моменту інерції диска від відстані осі обертання до центра ваги.

### Хід роботи

1. Зберіть установку як показано на рис. 2. Закріпіть диск на вісі обертання. За допомогою динамометра виміряйте силу, яка потрібна для відхилення диску на певний кут.

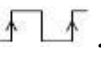


Рисунок 2

### Експериментальна установка:

1 - світловий бар'єр з лічильником, 2 - циліндрична опора, 3 - диск з отворами по діаметру, 4 - тринога, 5 - динамометр, 6 - лінійка

## PHYSICS AND MATHS

2. Прикріпіть аркуш паперу (ширина  $\leq 3$  мм) на лінії отворів. Розмістіть диск так, щоб аркуш знаходився під світловим бар'єром. Для бар'єра встановіть режим . Відхиліть диск на  $180^\circ$  і виміряйте півперіод коливань «за» та «проти» часової стрілки. Отримані результати округліть.

3. Побудуйте графік залежності моменту спіральної пружини від кута обертання. Визначити кутовий коефіцієнт пружності спіральної пружини.

4. Побудуйте графік залежності періоду коливань диску від відстані між віссю та центром тяжіння [5].

Після виконання даної лабораторної роботи можна поставити наступні питання:

- 1) Що таке момент інерції?
- 2) Як визначається коефіцієнт жорсткості пружини і від чого він залежить?
- 3) Сформулюйте теорему Штейнера.

Застосування сучасного нового обладнання у навчанні – одна з найбільш важливих і стійких тенденцій розвитку освітнього процесу. Завдяки новому обладнанню на якісно вищому рівні реалізується принцип наочності навчання, який спирається на діалектико-матеріалістичну теорію пізнання, суть якої полягає у сходженні до абстрактного мислення, а від нього до практики. Головним питанням сьогодення в системі нової освіти є опанування учнями вмінь і навичок саморозвитку особистості, що значною мірою досягається шляхом впровадження нового обладнання, організації процесу навчання [7].

**Висновки.** Навчальний експеримент з фізики у школі недостатньо розкриває особливості вивчення матеріалу. В останні роки значних змін зазнали вимоги до знань, умінь та навичок учнів. То ж зміни відбуваються і в оновленні обладнання фізичних кабінетів. Вагомий внесок у даному напрямку робить німецька фірма «PHYWE». Зокрема, за допомогою новітнього німецького обладнання можна виконати лабораторні роботи «Вивчення моменту інерції та кутового прискорення за допомогою шарнірної опори» та «Момент інерції різних тіл. Теорема Штейнера».

### References:

- [1] Слюсаренко В. В. (2022). Навчальний фізичний експеримент як засіб формування експериментальних компетентностей. *Scientific Collection «InterConf»: with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Development in the Global Science»*, (111), 420-429.
- [2] Слюсаренко В. В. & Гончарова І. В. (2022). Вдосконалення фізичного

## PHYSICS AND MATHS

експерименту в освітньому процесі. *Scientific Collection «InterConf»: with the Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference «International Forum: Problems and Scientific Solutions», (114), 335-342.*

- [3] Пасько О. О. & Однодворець Л. В. (2021) *Фундаментальний фізичний експеримент у навчанні фізики*. Суми, Сумський державний університет: Україна.
- [4] Дущенко В. П. & Кучерук І. М. (1987) *Загальна фізика, Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка*. Київ, Вища школа: Україна.
- [5] Слюсаренко В. В. & Садовий М. І. (2013) *Методичні рекомендації до виконання вибраних лабораторних робіт із новітнім обладнанням «PHUWE»*. Кіровоград, Сабоніт: Україна.
- [6] Слюсаренко В. В. (2015) *Методика формування експериментальних компетентностей старшокласників з використанням вимірjuвального комплекту на уроках фізики: дис. ... кандидата пед. наук : 13.00.02*. Кіровоград: Україна.
- [7] Слюсаренко В. В. (2013) *Фізичний експеримент в навчально-виховному процесі. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки, (121), 122-126.*