

Лабораторія «МАНЛаб»



Фізика.  
Прикладні методики  
інструментальної цифрової  
дидактики

Навчально-методичний посібник

Фізика. Прикладні методики інструментальної цифрової дидактики: навчально-методичний посібник / І. С. Чернецький, І. А. Сліпухіна, Н. І. Поліхун – К., 2020. – 204 с.

Навчально-методичний посібник призначено для опанування методик цифрової дидактики при виконанні лабораторних робіт із фізики в курсі загальноосвітньої, старшої та вищої школи. Видання адресовано педагогам та учням Малої академії наук України, вчителям та учням закладів загальної, середньої освіти і старшої школи, студентам закладів вищої освіти.

## Зміст

Вступ .....	5
Витоки інструментальної цифрової дидактики .....	9
Дидактичний тетраedr цифрової дидактики .....	12
Цифрова дидактика у STEM-навчанні .....	13
Розвиток лабораторного фізичного практикуму .....	18
Цифрова дидактика у міждисциплінарних дослідженнях .....	21
Розвиток цифрової дидактики засобами STEM-лабораторії «МАНЛаб» .....	24
Технології, які змінюють освіту .....	26
Лабораторна робота № 1. Дослідження прямолінійного рівноприскореного руху .....	29
Лабораторна робота № 2. Вимірювання прискорення вільного падіння .....	37
Лабораторна робота № 3. Дослідження руху тіла, кинутого вертикально вгору .....	43
Лабораторна робота № 4. Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту .....	52
Лабораторна робота № 5. Дослідження руху тіла, кинутого горизонтально .....	61
Лабораторна робота № 6. Дослідження рівномірного руху тіла по колу .....	69
Лабораторна робота № 7. Дослідження умов рівноваги тіла під дією кількох сил .....	74
Лабораторна робота № 8. Дослідження пружних властивостей тіл .....	78
Лабораторна робота № 9. Вимірювання моменту інерції тіла ( <i>варіант 1</i> ) .....	83
Лабораторна робота № 9. Вимірювання моменту інерції тіла ( <i>варіант 2</i> ) .....	90
Лабораторна робота № 10. Дослідження руху зв'язаної системи тіл .....	97
Лабораторна робота № 11. Визначення гальмівного шляху тіла та коефіцієнта тертя ковзання .....	103
Лабораторна робота № 12. Дослідження пружних і непружних зіткнень .....	108
Лабораторна робота № 13. Дослідження коливань нитяного маятника .....	115
Лабораторна робота № 14. Дослідження коливань пружинного маятника .....	120
Лабораторна робота № 15. Дослідження коливань фізичного маятника .....	125
Лабораторна робота № 16. Вимірювання довжини звукової хвилі та швидкості звуку .....	131
Лабораторна робота № 17. Вивчення явища механічного резонансу .....	134
Відеозадачі з механіки .....	140
Лабораторна робота № 18. Дослідження броунівського руху .....	145
Лабораторна робота № 19. Дослідження ізопроцесів у газі .....	150
Лабораторна робота № 20. Визначення сталої Больцмана та універсальної газової сталої .....	154

Лабораторна робота № 21. Вимірювання поверхневого натягу рідини ( <i>варіант 1</i> ).....	156
Лабораторна робота № 21. Вимірювання поверхневого натягу рідини ( <i>варіант 2</i> ).....	161
Лабораторна робота № 22. Визначення ККД теплового процесу .....	164
Лабораторна робота № 23. Вимірювання електроємності конденсатора .....	167
Лабораторна робота № 24. Визначення температурного коефіцієнта опору напівпровідника.....	170
Лабораторна робота № 25. Дослідження явища електромагнітної індукції .....	173
Лабораторна робота № 26. Дослідження електричних кіл із нелінійними елементами .....	177
Лабораторна робота № 27. Вимірювання індуктивності котушки.....	181
Лабораторна робота № 28. Дослідження заломлення світла.....	184
Лабораторна робота № 29. Дослідження кілець Ньютона.....	187
Лабораторна робота № 30. Визначення довжини світлової хвилі. Спостереження неперервного і лінійчатого спектрів речовини.....	192
Лабораторна робота № 31. Вивчення явища поляризації світла.....	196
Лабораторна робота № 32. Дослідження треків заряджених частинок за фотографіями.....	198
Список використаних джерел.....	201

## Вступ

Навчання у XXI ст. неможливо уявити без використання цифрових технологій: вони є інструментом візуалізації і оцінювання навчання, пошуку, отримання та опрацювання даних різноманітного походження. Електронні навчальні матеріали витісняють традиційні шкільні підручники, класні кімнати замінюються на багатомодульні просторово-матеріальні зони, а самі навчальні середовища стають відкритими.

Сучасні учні і студенти є активними суб'єктами віртуально-реального цифрового середовища, через яке нині здебільшого здійснюються їх комунікація і соціалізація. Дидактика у цифрову епоху розширює свою теорію і практику через інтеграцію викладання та навчальних досліджень. Сучасний шкільний клас нагадує науково-дослідну лабораторію з набором усіх необхідних пристроїв, потрібних для проведення, опрацювання й аналізу результатів експерименту. Окрім того, важливими і доступними інструментами є сучасні мобільні телефони (які зокрема містять відповідні набори датчиків), придатні для виконання навчальних досліджень.

Відповідно до пропозицій Рекомендаційної ради Єврокомісії до складу ключових компетентностей для навчання упродовж життя (рис. 1) входить цифрова компетентність, показником сформованості якої є критичне залучення цифрових технологій до навчання, професійної та суспільної діяльності<sup>1</sup>.

В актуальній редакції зазначеного документу, прийнятій 17 січня 2018 р. (рекомендація 2018/0008 (NLE) Європейського парламенту та Ради ЄС), зміст цифрової компетентності кардинально оновлено відповідно до сучасного стану і тенденцій розвитку суспільства. Загальноживана рамка цифрової компетентності (вперше оприлюднена у 2013 р.) нині містить 21 навчальний результат у таких сферах<sup>2</sup> (рис. 2):

- *інформаційна грамотність і використання даних* (зокрема пошук, фільтрація та оцінювання даних, керування цифровим контентом у структурованому середовищі);
- *спілкування, співпраця, участь у суспільному житті*, а саме: уміння взаємодіяти (застосовувати відповідні засоби цифрового спілкування у різних контекстах); обмінюватися даними, інформацією та цифровим вмістом; використовувати цифрові технології для саморозвитку, участі у суспільному житті; використовувати цифрові інструменти і технології для співпраці та створення ресурсів знань; адаптувати комунікаційні стратегії до конкретної аудиторії, усвідомлюючи її різноманіття;
- *створення цифрового контенту, розуміння етичних принципів*, а саме: змінювати; удосконалювати та інтегрувати інформацію в наявний масив знань для створення нового змісту та знань; розуміти і дотримуватися авторських прав та ліцензій щодо застосування даних;
- *безпека* для пристроїв, цифрового вмісту, персональних даних і конфіденційності, добробуту, здоров'я і навколишнього середовища;
- *вирішення завдань і проблем*: творче використання цифрових технологій для створення нового знання та інноваційних процесів і продуктів, оцінювання потреби, виявлення і добір цифрових інструментів та можливих технологій, ви-



Рис. 1. Ключові компетентності для навчання впродовж життя



Рис. 2. Структура цифрової компетентності

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework>

<sup>2</sup> URL: <https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/annex-recommendation-key-competences-lifelong-learning.pdf>

рішення технічних проблем під час роботи пристроїв, уміння вдосконалювати власну цифрову компетентність.

Оволодіння компетенціями XXI ст. передбачає участь у процесах, які потребують навичок високого мислення, серед яких визначення цілей, вибір методів навчання, оцінювання та рефлексії. Зауважимо також, що уявлення про процес навчання людини значно змінилися з розвитком за останні кілька десятиліть наук про людину: нейропсихології, етології, нейролінгвістики, психопедагогіки та ін. [1].

Створення і впровадження високоякісних цифрових навчальних продуктів по суті є інженерією навчальної діяльності учня / студента і потребує підготовки компетентних педагогічних кадрів, здатних проектувати ефективне середовище навчання: від застосування цифрових вимірювальних комплексів до створення і керування освітніми онлайн-ресурсами, модулями, курсами, мультимедійними засобами навчання тощо.

Рамка цифрової компетентності для освітян (DigCompEdu) [34] усіх рівнів освіти визначає 6 основних галузей у 22 складниках, у яких виражається компетентність учителя (рис. 3).



Рис. 3. Структура цифрової компетентності працівників освіти усіх рівнів<sup>3</sup>

Зміст кожної з галузей, які визначають вимоги до цифрової компетентності вчителя, стисло розкрито так:

- 1) *професійна залученість*: використання цифрових технологій для спілкування, співпраці та професійного розвитку;
- 2) *цифрові ресурси*: пошук, створення і поширення цифрових ресурсів;
- 3) *навчання і викладання*: керування та організація використання цифрових технологій у викладанні і навчанні;
- 4) *оцінювання*: використання цифрових технологій і відповідних стратегій для вдосконалення оцінювання;
- 5) *розширення можливостей учнів*: використання цифрових технологій для вдосконалення інклюзії, персоналізації та активного залучення учнів;
- 6) *сприяння розвитку цифрової компетентності учнів*: забезпечення можливостей креативного і відповідального використання цифрових технологій для роботи з інформацією, комунікації, створення контенту, добробуту та розв'язування проблем.

Професійні компетентності вчителя в цифрову епоху зазначено у структурі його ІКТ-компетентності, запропонованій у відповідних рекомендаціях комісії UNESCO [35]: розуміння ІКТ в освіті, розроблення навчальних програм й оцінювання, навички педагогічної діяльності, знання технічних і програмних засобів ІКТ, організація і управління освітнім процесом, сталий професійний розвиток. Рекомендації побудовано з урахуванням трьох підходів до цифровізації освітнього процесу в закладі освіти, які пов'язані з відповідними стадіями професійного розвитку педагогів у цифровому освітньому середовищі. Перший підхід – «застосування ІКТ» – вимагає від учителів здатності допомагати учням користуватися ІКТ для підвищення ефективності навчальної роботи; другий – «освоєння знань» – ґрунтовно опанувати зміст навчальних предметів, застосовувати здобуті знання для вирішення комплексних завдань, які тра-

<sup>3</sup> <http://dystosvita.blogspot.com/2018/04/digcompedu.html>

пляються в реальному світі; третій – «виробництво знань» – допомагати учням, майбутнім громадянам і працівникам виробляти (породжувати) нові знання, необхідні для гармонійного розвитку і процвітання суспільства (рис. 4).

Структура ІКТ-компетентності вчителя			
Модуль для кожного з підходів	Застосування ІКТ	Освоєння знань	Виробництво знань
Розуміння ролі ІКТ в освіті	Обізнаність з освітньою політикою	Розуміння освітньої політики	Ініціювання інновацій
Навчальна / освітня програма і оцінювання	Базові знання	Застосування знань	Уміння громадянина суспільства знань
Педагогічні практики	Застосування ІКТ	Розв'язання комплексних задач	Здатність до самоосвіти
Технічні і програмні засоби ІКТ	Базові інструменти	Складні інструменти	Сучасні технології
Організація і управління освітнім / навчальним процесом	Традиційні форми навчальної роботи	Групи співпраці	Навчальна організація
Професійний розвиток	Комп'ютерна грамотність	Допомога і менторство	Учитель як майстер навчання

Рис. 4. Професійні компетентності вчителя у рекомендаціях комісії UNESCO

Все вищезазначене демонструє виразні зміни у структурі діяльності вчителя, у якій можна виявити інтеграцію функцій учителя, дидакта й інженера, тобто фахівця, здатного спроектувати і побудувати ефективне освітнє середовище. Отже, роль учителя у XXI ст. трансформується до «інженерії навчання на основі досягнень науки» [32], яка ґрунтується на трьох ключових компетенціях: розробленні цілей навчання, проектуванні його змісту і методів оцінювання (рис. 5).

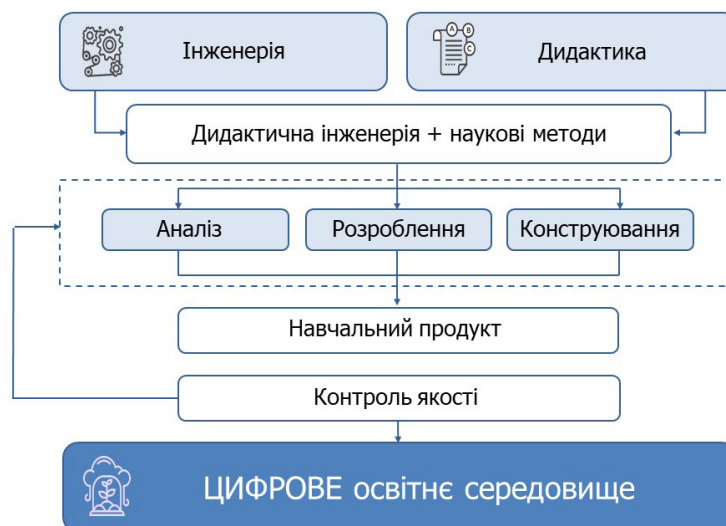


Рис. 5. Дидактична інженерія у цифровому освітньому середовищі

Зауважимо, що інженерія у широкому її розумінні (як виду діяльності) передбачає створення на основі наукових знань і методів суспільно значущого продукту, а також керування ним й обслуговування. У цьому контексті дидактична інженерія може розглядатися як застосування інженерного підходу в педагогіці, а також трактуватися як продукт і процес освітньої діяльності одночасно. Також можна виокремити її власну предметну галузь, пов'язану з розробленням освітніх продуктів, орієнтованих, з одного боку, на результат, а з другого – на застосування наукового й інженерного методів в аналізі дидактичних систем, процесів і ситуацій з метою створення ефективного освітнього середовища.

Вагомим внеском у розвиток теорії і практики цифрової освіти в Україні є виокремлення елементів цифрового навчання у Державному стандарті початкової освіти (2018) як «здатності до розв'язання проблем із використанням цифрових пристроїв, інформаційно-комунікаційних технологій і критичного мислення для розвитку, творчого самовираження, власного й суспільного добробуту, навичок безпечної й етичної діяльності в інформаційному суспільстві» [28], а також їх відображення у Стандарті спеціалізованої освіти наукового спрямування (2019), зокрема у вимогах до результатів дослідно-орієнтованого навчання здобувачів освіти за природничо-математичним та за техніко-технологічним профілями [30].



## Витоки інструментальної цифрової дидактики

Дослідження трансформувального впливу технології на дидактику почали з'являтися наприкінці ХХ ст. Підставою цього став бурхливий розвиток програмного, інструментального й апаратного забезпечення, яке створювало можливості здобування, опрацювання і візуалізації даних експерименту, зокрема у формі динамічних моделей. Активне впровадження цифрових технологій у навчальний процес створило підстави для перегляду предмета, мети і завдань дидактики.

Раніше нами було засвідчено, що цифрова дидактика може розглядатися як результат взаємодії психолого-педагогічних, інформаційних і цифрових технологій із використанням трансдисциплінарного підходу до формування навчальних середовищ, що ґрунтуються на сучасних цифрових засобах навчання. Вона спрямована на їх ефективне використання як методу, так і результату навчання усіма учасниками освітнього процесу у ХХІ ст. [16]. Виявлено, що поняття цифрової дидактики у контексті управління знаннями в освітньо-інформаційному середовищі створює можливості для інтегрованого опису його складових і значного спектру різноманітних його інструментів. Отже, цифрова дидактика є інноваційною галуззю педагогіки, яка потребує створення нових моделей освітнього середовища на основі інтеграції дослідження і навчання.

Розкриття змісту тієї складової цифрової дидактики, яка відображає використання у навчальному процесі цифрових інструментів здобування й аналізу емпіричних даних про матеріальні об'єкти, дасть змогу зрозуміти, як і за яких умов потенціал ІКТ може бути якомога ефективніше використано у навчальному процесі.

Інформатизація і цифровізація процесу пізнання приводить до істотних змін у складових освітнього середовища (рис. 6).



Рис. 6. Зміни у складових цифрового освітнього середовища

Так, у просторово-матеріальному аспекті продовжують широко впроваджуватися цифрові вимірювальні комплекси (ЦВК) – нова складова освітнього середовища, у якій ПК виконує роль центра для опрацювання даних різноманітного походження, а його зовнішній інтерфейс – спеціалізований чи пристосований – є засобом вимірювання чи / і реєстрації. Головною перевагою ЦВК є оперативність опрацювання експериментальних даних та інших інформаційних ресурсів, максимальне спрощення процесу вимірювання та використання елементів стандартного комп'ютерного інтерфейсу для проведення лабораторного дослідження. Ці засоби навчання перебувають у стані постійного удосконалення і видозмінювання, інтегруючи у різний спосіб процес вимірювання й опрацювання даних.

Зміни в інформаційно-технологічному аспекті відбуваються синхронно з модернізацією інформаційних каналів: навчальні матеріали (наприклад, підручники і робочі зошити) дедалі частіше доступні у цифрових версіях, можуть зберігатися на «хмарних сервісах» (наприклад, технологія Chromebook) і мають гіпертекстову форму, придатну для використання учнями / студентами як на уроці, так і в позаурочний час. Відповідний цифровий контент може містити мультимедіа, інтерактивні засоби, системи налаштування, адаптації та зберігання даних про роботу учня / студента, підтримувати різноманітні

датчики, аплети для моделювання і візуалізації фізичних явищ та їх математичних моделей, посилання на додаткову інформацію і відеоролики, що стосуються контексту проблеми тощо. У цьому контексті також продовжує інтенсивно розвиватися дистанційне навчання. Закон щорічного подвоєння потоку інформації спричинив переорієнтацію педагогічних технологій на формування вміння учня / студента навчатися, тобто, передусім, *самостійно знаходити необхідні дані*. Цей крок, однак, не завжди виправдовується в умовах середньої школи: можливість швидкого збирання даних налаштовує суб'єкта навчання на пошук готової відповіді на проблемне запитання, а не на вивчення шляхів її логічного здобування. Індивідуалізація є головною перевагою цих технологій, а тому вони повинні мати винятково адаптивний характер. Однак найважливішою особливістю сучасного освітнього середовища в інформаційно-технологічному аспекті є те, що первинним у процесі навчання є опанування цифрового інструментарію, який надалі можна використати у самостійному здобутті нових знань.

Розглядаючи соціально-особистісну складову сучасного освітнього середовища, зауважимо, що цифровізація майже всіх сфер життя дедалі глибше переносить суб'єктів пізнавальної діяльності у простір віртуальної реальності, пов'язаної з реальним експериментом чи технологією [37]. Офісний пакет програмного забезпечення вже є недостатнім для розв'язання усіх питань навчання. Тому найбільшій значущості нині набуває не тільки обізнаність учителя / викладача з технологіями роботи у локальній / глобальній комп'ютерній мережі: він зобов'язаний бути активним користувачем цифрових інформаційних технологій, зокрема з точки зору використання їх як засобу популяризації науки [38]. Спостереження процесу навчання вказують на зміну фасилітатора: поширеною є ситуація, коли учні / студенти є більш обізнаними в певних аспектах ІТ, а це спонукає вчителя додатково навчатися від того, кого він навчає.

Нагадаємо, що класична дидактика – це галузь педагогіки, теорія навчання й освіти, а також виховання у процесі навчання, яка досліджує загальні закономірності пізнавальної діяльності людини (як керованої, так і самоосвіти). Вона науково обґрунтовує зміст освіти, вивчає закономірності, принципи, методи й організаційні форми навчання [20]. У процесі розвитку дидактика сформувала власний категоріальний апарат, методи дослідження, принципи, структуру і логіку. Розрізняють такі її принципи: єдності освітньої, розвивальної та виховної функцій навчання; науковості змісту і методів навчання; систематичності та послідовності; міцності знань; доступності, свідомості й активності учнів; наочності; зв'язку навчання з практикою, а також принцип індивідуалізації. Основними категоріями дидактики є процес навчання, закономірності і принципи навчання, зміст освіти, методи навчання, форми організації навчального процесу, а її предметом виступає навчальний процес, а саме: мета, зміст, форми, методи, способи, засоби його організації як для взаємодії суб'єктів навчання, так і для самоосвіти. Джерелами розвитку дидактики є, насамперед, інноваційний педагогічний досвід, теоретичні дослідження, фахові методики, філософія, психологія, вікова фізіологія, а також цифрові технології.

Контент-аналіз мережі Інтернет виявив, що поняття «цифрова дидактика» («digital didactics») досить часто використовується у різноманітних повідомленнях і назвах онлайн-ресурсів та їхніх частин. Трапляються «е-дидактика», «цифрова педагогіка» у контексті створення електронних курсів, які можуть містити також різноманітні інструменти супроводу навчального процесу. Виявлено, що зазначені поняття використовують для опису певні аспекти дидактичних систем у цифровому середовищі або часткові методики цифрового навчання, а іноді й просто розглядають синонімічно, як на ресурсі [10]. Однак, за винятком спроб, наведених у праці [27], не виявлено єдиного науково обґрунтованого визначення цифрової дидактики. Аналіз показав, що педагогічні дослідження в цьому контексті сфокусовано переважно на технічному, а не на дидактичному аспекті цього питання.

В одному з найбільш ранніх джерел (2009) зазначається, що цифрове суспільство та диджиталізована школа змінюють класичні засади викладання і навчання, а тому виникає потреба у розробці нової навчальної теорії технологій, пов'язаної з дидактикою, яка охоплює нові дидактичні потоки, з якими вчителі мають зіткнутися в рамках нової освітньої реформи – просування знань [3].

Практика показує, що використання цифрових технологій істотно стимулює процес навчання, якщо ці технології вдало поєднуються з традиційною методикою навчання, яка у контексті природничих дисциплін передбачає проведення реального (натурного) експерименту і супроводжується отриманням і аналізом масивів числових даних. Це створює підстави для виокремлення поняття *інструментальної цифрової дидактики* (ІЦД) як складової цифрової дидактики, яка відображає інтеграцію процесу здобування знань і використання з цією метою цифрових засобів отримання, опрацювання та аналізу емпіричних даних.

Засоби ІЦД можна поділити на дві основні групи – пристрої здобуття даних і програмні засоби їх опрацювання. Вони виконують такі навчальні функції:

- інформаційну (засіб пошуку довідкових матеріалів, опису робіт, моделювання конкретних завдань, тестового моніторингу навчальних досягнень);
- мультифункціонального приладу для отримання емпіричних даних (засіб вимірювання);

- засобу опрацювання числових результатів експерименту (програмні засоби різноманітних розрахунків і візуалізації даних, побудови моделей тощо).

Важливою умовою використання засобів ІЦД є досконале володіння суб'єктами навчання (учителями й учнями) аналітичним інструментарієм і методологією опрацювання масиву даних незалежно від способу їх отримання.

Зазначимо, що існує принципова відмінність між електронною формою навчання і цифровою дидактикою. Перша з них передбачає використання структурованого контенту (презентації, відео, тексту тощо), втіленого і поданого у вигляді послідовного навчального курсу на електронній платформі. У цьому випадку «оцифрований» зміст діє лише як активатор сенсорного сприйняття інформації, спрощуючи уявлення про об'єкти навчання. Друга – цифрова дидактика (наприклад ІЦД як її складова), що зорієнтована на активне використання техніко-технологічних засобів здобування й опрацювання емпіричних даних, аналітичних можливостей програмних продуктів (математичні таблиці, програми для відеоаналізу, засоби і програмне забезпечення для вимірювань) у процесі навчання, яке може бути й електронним, і класичним (традиційним).

Рівень застосування ІКТ (низький, середній і високий) у дидактиці створює підстави для виокремлення умовних зон перекриття традиційного, електронного і цифрового формату навчання, поданих у графічному вигляді [32]. Низький рівень застосування ІКТ характеризується спонтанним використанням у навчальному процесі окремих технологічних засобів, таких як, наприклад, калькулятори або стандартні офісні програми (Word, Power Point, Paint тощо). Середній рівень передбачає розширене застосування цифрових інструментів та засобів створення мультимедіа. Високий рівень супроводжується цілеспрямованим плановим використанням засобів ІЦД для вимірювання, аналізу, моделювання, керування та прогнозування. Водночас формат навчання можна охарактеризувати як традиційний (Face-to-Face (F2F)), гібридний (змішаний) і дистанційний (онлайн). У такому графічному представленні ІЦД і електронне навчання можуть бути складовими цифрової дидактики як логічного продовження традиційної теорії навчання в умовах сучасного світу (рис. 7).

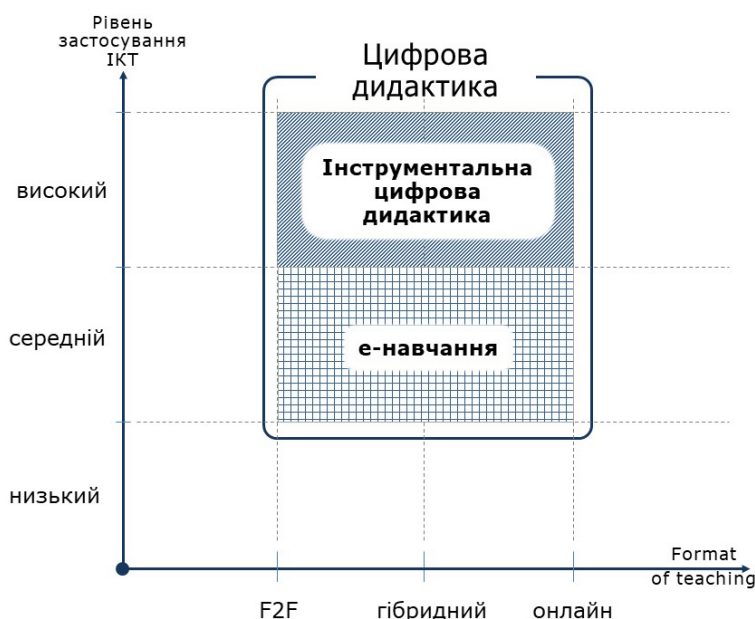


Рис. 7. Місце ІЦД відповідно до рівня застосування ІКТ і формату навчання

Зазначимо, що є *принципова відмінність між електронним і цифровим навчанням*. Електронне навчання передбачає використання структурованого контенту (презентації, відео, тексту тощо), втіленого і поданого у вигляді послідовного навчального курсу на електронній платформі. У цьому випадку «оцифрований» зміст діє лише як активатор сенсорного сприйняття інформації, спрощуючи уявлення про об'єкти навчання. На відміну від електронного, цифрове навчання (цифрова дидактика) пропонує активне використання аналітичних можливостей програмних продуктів (математичні таблиці, програми для відеоаналізу, засоби і програмне забезпечення для вимірювань) у процесі навчання, яке може бути і електронним, і звичайним.

Отже, важливою ознакою цифрової дидактики є те, що суб'єкти навчання (учитель і учень) повинні володіти методологією опрацювання масиву даних незалежно від способу їх отримання. А це потребує досконалого володіння аналітичним інструментарієм, який закладено в засоби навчання.

## Дидактичний тетраедр цифрової дидактики

Важливим вектором розвитку цифрових технологій в освіті є поліпшення спілкування вчителів і учнів у класі та поза ним, а також сприяння ефективному використанню навчальних ресурсів через Інтернет, інтерактивні дошки або проектори даних, які можуть бути зв'язані з ПК вчителя. Отже, цифрові ресурси публічно відображаються, ними можна маніпулювати та коментувати під час уроку. До цієї категорії також належать індивідуальні пристрої, через які може здійснюватися зворотний зв'язок з учителем і обмін ідеями з класом загалом.

Зміни інформаційної і комунікаційної інфраструктури навчального процесу привели до зміни подачі навчальних матеріалів, таких як підручники і робочі зошити, які дедалі частіше доступні у цифрових версіях і мають гіпертекстову форму, придатну для використання учнями / студентами як на уроці, так і в позаурочний час. Такий цифровий текст може містити мультимедіа, інтерактивні засоби, системи налаштування, адаптації та зберігання інформації про роботу учня / студента, підтримувати різноманітні датчики, аплети для моделювання і візуалізації фізичних явищ та їхніх математичних моделей, посилання на додаткову інформацію та відеоролики, що стосуються контексту проблеми тощо.



Рис. 8. Дидактичний тетраедр цифрового освітнього середовища

Особливості дидактичної взаємодії у цифровому освітньому середовищі можуть бути подані у вигляді евристичної моделі як тетраедра, кожна з граней якого відображає певну навчальну взаємодію між вчителем, змістом, технологією та учнем / студентом [31] (рис. 8). Так, грань «вчитель–зміст–учень» – це класична дидактична взаємодія (дидактичний трикутник). Грані «учень–зміст–технологія» та «вчитель–зміст–технологія» відображають цифрове навчання учня й учителя незалежно один від одного. Наприклад, опанування відповідними цифровими засобами і методами проведення дослідження або самостійного навчання у віртуально-реальному просторі. Грань дидактичного тетраедра «вчитель–учень–технологія» є позначенням відповідної взаємодії з використанням цифрових засобів, яка виходить за межі конкретної предметної галузі, наприклад, різноманітні види консультування (також і двостороннього), менторства, тьюторінгу тощо.

## Цифрова дидактика у STEM-навчанні

Початок ХХІ ст. ознаменувався появою якісно нового підходу до навчання, сутність якого розкривається акронімом STEM. Метою його впровадження є формування в учнів здатності і готовності до розв'язання комплексних завдань, пов'язаних із реальними потребами споживачів. STEM-навчання має виражений міждисциплінарний характер: воно здійснюється із залученням знань, навичок і компетентностей, які формуються при вивченні окремих дисциплін (предметів), і цифрових засобів навчання.

Формула Нової української школи містить дев'ять ключових компонентів, які також покладено в цільові орієнтири STEM-підходу в навчанні. Зауважимо, що ядром STEM-навчання є вирішення здобувачами освіти складного питання чи реальної проблеми, розглянути які можна лише в контексті декількох дисциплін. Це, з одного боку, потребує підвищення якості й ефективності первинної природничо-наукової освіти (формальна освіта), а з другого – STEM-освіта виходить за межі освітнього закладу, оскільки передбачає встановлення і розвиток партнерських зв'язків між учнями / студентами, вчителями, дослідниками, новаторами, фахівцями з виробництв та іншими зацікавленими сторонами (неформальна освіта).

Відмінність STEM-підходу від традиційних освітніх моделей полягає в тому, що він фокусується на творчому вирішенні проблем повсякденного життя, реальних завдань, розв'язання яких потребує наукового й інженерного мислення, а відтак формує та комплексно розвиває його.

Нагадаємо, що творчість – це самостійна діяльність суб'єкта, для якої характерні постановка проблеми, пошук умов і способу її розв'язання, створення нового. Розрізняють наукову, науково-технічну і технічну творчість. Наукова творчість задовольняє потреби пізнання навколишнього світу (це творчість у межах фундаментальних наук). Технічна і науково-технічна творчість мають чіткі практичні цілі, спрямовані на задоволення утилітарних потреб суспільства. Головними результатами творчості є відкриття, винаходи, раціоналізаторські пропозиції та конструкторські розробки.

Зауважимо, що у контексті STEM-навчання завдання формуються відповідно до наукового методу та інженерного дизайну, які є підґрунтям будь-якого процесу досліджень незалежно від галузі пізнання<sup>4</sup>.

**Науковий метод** розуміють як сукупність основних способів вироблення нових знань і вирішення завдань із використанням понять, законів та інструментарію певних наук. Науковий метод охоплює способи дослідження явищ, а також їх систематизацію, коригування нових і здобутих раніше знань, основою для яких є спостереження й експерименти.

Контекстний зміст наукового методу дослідження схематично зображено у вигляді певних етапів, які можуть повторюватися (процес ітерації) у разі зміни підходу чи появи нових даних (рис. 9, суцільні лінії). Розглянемо основні етапи навчально-наукового дослідження з використанням наукового методу.

**Постановка питання і визначення теми** – найважча частина дослідження, що насамперед має бути цікавою для дослідника. Інакше кажучи, це запитання про те, що можна спостерігати: як, що, коли, хто, навіщо чи де? Окрім того, слід брати до уваги таке:

- пошук відповіді на поставлене запитання значно полегшується, якщо воно пов'язане з величиною, яку можна виміряти і подати у формі числа;
- на задану тему є не менше трьох джерел інформації, щоб можна було використати вже наявний досвід;
- питання має містити один фактор (змінну), який можна змінити в експерименті, і хоча б один коефіцієнт, який можна виміряти (наприклад, в одному випробуванні *увімкнено* світло, а в іншому – *вимкнено*, або в одному випробуванні *використовуються* добрива, а в іншому – ні);
- бажано, щоб протягом виконання експерименту виконувалася його фото- або відеофіксація визначеними засобами з достатньою точністю і діапазоном вимірювань;



- експеримент має бути безпечним для виконання;
- під час планування експериментального дослідження потрібно з'ясувати, чи є всі потрібні матеріали та обладнання або за який час і за яку ціну можна їх придбати.



Рис. 9. Етапи наукового методу (суцільні лінії) та його доповнення ІЦД (штрихові лінії)

Етап проведення попередніх досліджень необхідний для з'ясування наявних даних щодо сформульованої наукової проблеми. Він завершується розробленням плану проведення дослідження, виокремленням ключових запитань, які дають змогу більш повно розкрити предмет і об'єкт дослідження, створенням теоретичної моделі досліджуваного процесу.

На цьому етапі визначають зміст ключових термінів і факторів впливу, потрібних для добору як найкращого способу виконання проекту і запобігання вже відомим помилкам або невдалим спробам. Особливу увагу слід звернути на відомі експериментальні методики, які придатні до застосування в розглядуваному проекті. Це можуть бути стандартні експериментальні методики або лабораторні практики, або раніше проведені експериментальні дослідження з подібної проблеми. Саме вони дають змогу уникнути прогалин під час проектування, оскільки кожна з них містить перелік уже апробованого обладнання, з якого упевнено можна вибрати необхідне для власного експерименту.

Окрім того, саме на етапі попереднього дослідження формують список літератури для використання під час підготовки заключного звіту.

Побудова гіпотези як припущення про можливу відповідь на поставлене запитання, тобто пошук пояснення, яке можна експериментально перевірити (краще – виміряти). Вдалою вважають таку гіпотезу, що дає змогу зробити прогноз на кшталт: «Якщо \_\_\_ (зробити це) \_\_\_, то \_\_\_ станеться (це) \_\_\_», або «Якщо відбувається або є (це) \_\_\_, то станеться (це) \_\_\_, за такої умови \_\_\_». Найбільші проблеми зазвичай виникають на етапі побудови теоретичної моделі зазначеного процесу, оскільки він залежить від створення фізичної моделі та оволодіння достатнім математичним апаратом. Іноді необхідні для виконання проекту знання виходять за межі стандартних навчальних програм. У цьому випадку досліднику потрібно самостійно опановувати значні обсяги нової інформації. Слід наголосити, що навчальне наукове дослідження насамперед відрізняється від суто наукового тим, що для навчального дослідження існують теоретичні моделі, які можна віднайти у публікаціях; натомість для суто наукового дослідження потрібно створити власну унікальну теоретичну модель. У гіпотезі дослідження мають бути чітко відо-

бражені сталі та змінні величини, які вимірюватимуться в експерименті, а також логічна залежність між ними, яка буде перевірятися: експеримент має визначити відповідність гіпотези співвідношенню залежних величин за сталих факторів впливу.

**Постановка експерименту і перевірка гіпотези** надає можливість з'ясувати точність передбачення. На цьому етапі важливо переконатися, що змінюється одночасно лише одна величина, а всі інші залишаються незмінними. Доцільно повторити експерименти декілька разів, щоб максимально зменшити випадкові похибки.

Зауважимо, що на проектування експерименту впливають попередні дослідження, наявність потрібних матеріалів і засобів вимірювання. Так, якщо постановка експерименту буде коректною, то в дослідженні буде прослідковуватися чітка залежність між визначеними величинами. Якщо ж вона відсутня чи засоби вимірювання працюють на межі достовірності отриманих даних, необхідно коригувати сам експеримент. У разі отримання чіткої залежності між величинами, яка не відповідає запропонованій гіпотезі, слід коригувати саму гіпотезу. Зазначимо, що перед проведенням експерименту необхідно розробити план і підготувати таблиці для запису отриманих даних. Важливим також є фотозвіт про проведення експерименту або відеозапис його проходження.

**Аналіз даних і формування висновків** відбуваються після збирання даних експерименту, їх аналізу та порівняння з гіпотезою. Якщо прогнози і припущення не підтверджуються (таке нерідко буває у наукових дослідженнях), результати повідомляються, а процес дослідження повторюється, починаючи з висунення нової гіпотези з урахуванням актуальних даних, зібраних під час експерименту. Зауважимо, що можна також перевірити гіпотезу повторно, але іншим способом, навіть якщо вона підтверджується.

**Оприлюднення отриманих результатів** – завершальний етап, на якому отримані дані повідомляються у формі звіту, наукової публікації, виступу на семінарі, конкурсі тощо. Формування звіту про експериментальне дослідження має відповідати вимогам **академічної доброчесності**. Однією з найважливіших частин звіту є аналіз виявлених і обчислених факторів достовірності отриманого результату – похибок обчислень або статистичних коефіцієнтів достовірності. Повне подання кроків наукового методу у звіті збільшує його цінність для наступних користувачів і спрощує роботу програм із цитування наукового твору. Перед формуванням звіту слід перевірити матеріал на **плагіат**. Це дасть змогу виявити нецитовані посилання у змісті матеріалу, а також ще раз пересвідчитися в актуальності дослідження.

На відміну від наукового дослідження, процес **інженерного дизайну** – це певна послідовність кроків, яких дотримуються інженери для досягнення поставленої мети. Їх використовують у розробленні нового або вдосконаленні вже наявного продукту (наприклад, комп'ютерного коду або технічного виробу), який відповідає певним критеріям та / або виконує певне завдання. Етапи інженерного дизайну дещо відрізняються від етапів застосування наукового методу, який може бути також частиною проекту.

Процес інженерного проектування можна виразити через узагальнені етапи, які можуть повторюватися (рис. 10).

Розглянемо особливості реалізації етапів інженерного STEM-проекту.

**Визначення потреби (завдання).** Пошук ідеї для інженерного проекту розпочинається з *пошуку потреби*, тобто конкретизації того, чію і яку саме потребу однієї чи групи людей потрібно задовольнити. На цьому етапі слід створити перелік усіх речей, які турбують людей навколо. Після виокремлення ідеї інженерного проекту потрібно її описати, наприклад, у вигляді *заявки про проблему*, яка має відповідати на запитання «У чому полягає проблема чи потреба?», «У кого є проблема чи потреба?», «Чому це важливо вирішити?», а потім обговорити особливості можливої конструкції, дизайну і сфери її подальшого застосування.

**Проведення попереднього (фонового) дослідження.** Слід пам'ятати, що виявлена проблема є основою тривалої подальшої роботи в рамках STEM-проекту. Тому необхідно:

- переконатися, що вона актуальна, цікава і досить конкретна, щоб можна було розробити рішення (зокрема необхідно чітко уявляти, хто є *користувачами* або *замовниками*);
- з'ясувати, користуючись мережею контактів з компетентними особами, які мають більше досвіду (наставниками, батьками, вчителями), *що саме потрібно знати*, щоб краще зрозуміти зазначену інженерну проблему, які наукові сфери охоплює її виконання, які можливі способи її розв'язання;
- *віднайти принаймні три джерела письмової інформації* з обраної теми, а також виявити аналогічні продукти для аналізу, щоб спиратися на вже наявний досвід і відомі розв'язання подібних проблем.

Для реалізації навчального інженерного STEM-проекту важливо заздалегідь *оцінити можливі ризики*, які можуть призвести до невдачі. З метою уникнення цього слід відповісти на такі запитання стосовно результатів майбутнього проекту:

- чи будуть вони кращими, ніж ті, що вже існують (наприклад, дешевше, ефективніше, зручніше тощо);
- чи є вони безпечними у конструюванні, побудові, використанні, зберіганні та утилізації;
- чи наявні всі необхідні матеріали і обладнання, або чи можна їх придбати швидко і за доступною ціною;
- чи є достатньо часу для завершення дизайну конструкції і виготовлення його у заявленій термін (адже тільки у виняткових випадках все працює як треба з першого разу).

Якщо відповіді на ці запитання не будуть переконливими, то, імовірно, слід шукати іншу проблему для інженерного проектування.

*Визначення вимог* до конструкції і дизайну є важливим для досягнення успіху в проекті, а найкращий спосіб їх сформулювати – виконати аналіз конкретних прикладів подібного, уже наявного продукту (фізичного об'єкта, механізму, пристрою, програмного продукту, нагромадженого досвіду тощо) із зазначенням кожної його ключової особливості.



Рис. 10. Етапи науково-технічного та технічного дослідження з використанням етапів інженерного дизайну

*Мозковий шторм* створює умови для пошуку найкращої ідеї з можливих (перша ідея, як відомо, не завжди найкраща). Цей творчий процес передбачає колективне вивчення наявних думок і рішень, використання аналогій, створення ескізів, схем і рисунків тощо. Практичним результатом мозкового шторму є вибір рішення, яке найбільш повно задовольняє вимоги. На цьому етапі можна застосувати універсальні критерії дизайну, якими можуть бути: елегантність, міцність, естетика, вартість, ресурси, час, майстерність, безпека або інші. На цьому етапі можна скористатися матрицею рішення.

*Розроблення прототипу* передбачає деталізацію конструкції і триває протягом усього процесу проектування, часто навіть після того, як продукт презентовано. На цьому етапі відбувається всебічний розвиток інженерної проблеми і пошук відповіді на запитання «Як зробити, щоб це працювало?», «Як знизити ризики?», «Як досягти найвищої ефективності?». Методами розроблення проекту є створення креслень, моделювання, прототипування, бесіди, аналіз і синтез.

*Побудова робочої моделі*, яка може бути виготовлена з інших матеріалів, ніж остаточний варіант. Зазвичай вона не надто деталізована, однак процес її створення є ключовим кроком інженерного дизайну.



Тестування і перепроєктування спрямовані на випробовування створеного інженерного продукту, виявлення проблем, внесення змін і випробовування нових рішень перед створенням остаточного дизайну.

Повідомлення результатів є завершальним етапом проекту, що реалізується у вигляді письмового (усного) звіту або презентації. Важливим постає донесення до аудиторії результатів свого дослідження на різноманітних конкурсах, челенджах, хакатонах та інших подібних змаганнях. Слід усвідомлювати таке:

- якісне повідомлення про реалізований STEM-проект максимально збільшує шанси на перемогу;
- промова має бути стислою (2–5 хв), відображати основні підсумки роботи, а також наукову теорію, яка «стоїть» за проектом;
- потрібно завчасно обміркувати й обговорити перелік можливих запитань і відповісти на них;
- пояснювати створений проект доступною для аудиторії мовою;
- проявляти позитивне ставлення і захоплення виконаною роботою;
- уважно ставитися до відгуків на проект, які можуть сприяти його удосконаленню.

Зауважимо, що і вчені, і інженери роблять значний внесок у наукову теорію і практику, проте різними способами. Учені використовують науковий метод, щоб перевірити теоретичні припущення і зробити прогнози щодо навколишнього світу. Науковець ставить запитання і розробляє експеримент або комплекс експериментів, щоб відповісти на нього. Натомість інженери використовують інженерний процес проектування, щоб розв'язати проблеми. З цією метою інженер визначає конкретну потребу (*кому і для чого* або *чому* це потрібно?), а потім розробляє її рішення.

У реальному житті відмінність між наукою і технікою не завжди чітко визначена. Дослідники часто виконують інженерні роботи, а інженери часто застосовують наукові принципи, зокрема науковий метод. Наприклад, інформатика – це власне інженерія, адже програмісти створюють нові продукти для задоволення певних потреб. Отже, проект може потрапити у «сіру зону» між наукою та технікою, що є цілком нормальним. Так, проекти, які стосуються техніки, можуть для розроблення використовувати науковий метод.

Підсумовуючи, зауважимо, що, якщо метою STEM-проекту є винахід нового продукту, то є сенс у дотриманні етапів, притаманних процесу інженерного дизайну.

## Розвиток лабораторного фізичного практикуму

STEM-підхід в освіті спонукає до перегляду відомих, пошуку і впровадження нових підходів до організації лабораторного практикуму. Розглянемо найефективніші з них.

*Професійна і практична спрямованість* лабораторних робіт спонукає до формування стійкої позитивної мотивації, усвідомлення цінності навичок експериментування і, як наслідок, викликає інтелектуальну і пізнавальну зацікавленість та навчальну активність. Лабораторні завдання дедалі більш схожі на технічні завдання, які ґрунтуються на фундаментальному знанні. Значна кількість методик передбачає початкове детальне ознайомлення студентів із прикладом поетапного розв'язання такого проблемного відкритого завдання.

*Особистісно орієнтовані технології* в організації лабораторного практикуму ґрунтуються на ідеї створення оптимальних умов для якнайширшого прояву і відповідного розвитку як особистісних якостей здобувачів освіти, серед яких ключовими є здатність до самоосвіти і самореалізації своїх творчих можливостей, так і навичок максимально ефективної взаємодії суб'єктів пізнавальної діяльності.

*Використання цифрових технологій* у лабораторному практикумі істотно стимулює процес навчання, якщо ці технології вдало поєднуються з традиційною методикою навчання, яка передбачає реальний експеримент. Засоби цифрової дидактики можна розділити на дві основні групи – пристрої здобуття даних і програмні засоби їх опрацювання, – які виконують такі функції у лабораторному практикумі (рис. 11) :

- інформаційну (засіб пошуку довідкових матеріалів, опису робіт, моделювання конкретних завдань, тестового моніторингу навчальних досягнень);
- мультифункціонального приладу для отримання емпіричних даних (засіб вимірювання фізичних величин);
- засобу опрацювання числових результатів експерименту (програмні засоби різноманітних розрахунків і візуалізації даних, побудови моделей тощо).



Рис. 11. Засоби цифрової дидактики та їхніх функції

Методично продуманий і комп'ютерно орієнтований лабораторний експеримент розвиває здатність і готовність до використання сучасних інструментальних засобів проведення дослідження, що передбачають також процес збирання, зберігання і передавання інформаційних ресурсів.

Сектор використання цифрових технологій у сучасному освітньому середовищі інтенсивно розширюється за рахунок нових напрямів використання ПК, який є для суб'єктів навчання інструментом, що створює щоразу нові можливості для пізнання природи. Так, поява програмних засобів, орієнтованих на дослідження реальних фізико-технічних процесів через аналіз зображень, що супроводжують перебіг процесу, відкриває нове поле діяльності з побудови та проведення лабораторного фізичного практикуму. Такі засоби дали змогу розділити у часі процес нагромадження експериментальних даних та їх опрацювання і в такий спосіб створили в освітньому середовищі нові, особливі ніші, наприклад, для проведення аналізу відеоматеріалу, отриманого за межами аудиторії.

Відомо, що графічний матеріал надає майже повну інформацію про фізичні процеси. Важко навести приклади типових лабораторних робіт із курсу загальної фізики, які б не містили завдання графічного

відображення експериментально отриманих результатів і подальшого порівняння, наприклад, з відомою теоретичною залежністю.

Розвиток сучасних освітніх середовищ можна визначити як епоху створення *комп'ютерних цифрових лабораторій*, які пройшли тривалий період концептуального формування як комплексу. У будь-якій з них виокремлюються технологічні сегменти, які продовжують удосконалюватись: сприйняття зовнішньої інформації сенсором, її перетворення у цифровий сигнал, подальше опрацювання інформаційно-технологічним засобом і подання у зручній для суб'єкта пізнавальної діяльності формі, адаптованій до його попереднього досвіду – візуальній, табличній або графічній (рис. 12).

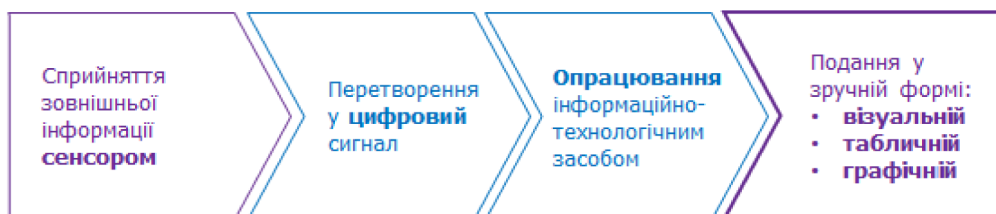


Рис. 12. Етапи опрацювання даних вимірювання засобами цифрового вимірювального комплексу

Як будь-який новий засіб пізнавальної діяльності, цифрові лабораторії потребують нових підходів до формування процесуальних засобів, які містять інтерактивні фрагменти, гіперпосилання на мережеві ресурси та імплантовані зразки вимірювальних операцій. Під час їх формування увага концентрується на раціональному доборі сенсорів, дискретизації вимірювального процесу та умінні опрацьовувати отриманий обсяг інформації за допомогою програмного засобу, що формує нове цифровізоване мислення суб'єкта пізнавальної діяльності. Процесуальні засоби, спрямовані на суб'єктів, що провадять навчальну діяльність, доповнюються візуалізацією методик використання цифрових лабораторій для демонстрації досліджуваних явищ, процесів та детальним описом можливостей усіх сегментів комплексу (опис сенсорної групи, технології постановки дослідження, роботи з програмним продуктом та інтерпретації отриманої інформації). Модернізація цифрових засобів пізнавальної діяльності реалізується в динамічному зв'язку з ресурсами виробників (сайтами, базами даних, поновленнями програмних засобів опрацювання інформації тощо). Процесуальні засоби цифрових лабораторій містять інтерактивні фрагменти, гіперпосилання на мережеві ресурси та імплантовані зразки вимірювальних операцій, які формують у процесі виконання навчально-дослідницького завдання нове цифровізоване мислення суб'єкта пізнавальної діяльності.

Зауважимо, що експериментування є важливою частиною процесу вивчення технічних і природничих наук, бо на його основі формуються уявлення про технічні процеси і природні явища, розвиваються навички висунення гіпотез і пошуку критеріїв істинності створених теорій. Цифрові лабораторії – це нове покоління навчальних лабораторій, які забезпечують автоматизоване збирання й опрацювання даних, дають змогу відображати хід експерименту у вигляді графіків, таблиць, показань приладів. Дані про проведені експерименти можуть зберігатися у реальному масштабі часу і відтворюватися синхронно з їх відеозаписом. Використання цифрових лабораторій у контексті освоєння понять і методів статистики, математики, інформаційних технологій, дисциплін професійного циклу відкриває можливості для міждисциплінарного вивчення технічних і фундаментальних дисциплін, підвищення мотивації до навчання, значного зменшення рутинної роботи зі збирання даних, побудови графіків, перенесення акценту на їх інтерпретацію і аналіз змін. Однак слід розуміти, що використання цифрових лабораторій не виправдано за відсутності в учня / студента стійких навичок збирання й опрацювання даних експерименту без використання таких апаратних засобів дослідження.

Поява програмних засобів, орієнтованих на дослідження реальних фізико-технічних процесів через аналіз зображень, що супроводжують перебіг процесу, дала змогу розділити у часі процес нагромадження експериментальних даних та їх опрацювання і створила в освітньому середовищі нові, особливі ніші, наприклад, для проведення аналізу відеоматеріалу, отриманого за межами аудиторії. Цифрові фотоапарати, мікроскопи, телескопи та Web-камери дають змогу фіксувати рухомі об'єкти, а також вивчати сам процес без втручання у його перебіг. Це, зокрема, дає змогу експериментатору дистанціюватися у процесі вивчення фізичного явища. Одним з найвдаліших навчальних продуктів відеоаналізу щодо досконалості та доступності, на нашу думку, є Tracker [33] – інтегрована з мережею Web-ресурсів програма аналізу відеофайлів, яка використовує мову програмування Java-апплетів і має невеликий розмір за значних можливостей.

З іншого боку, загальновідомо, що графічний матеріал надає майже повну інформацію про математичні закономірності процесів у природі. Дійсно, важко навести приклади типових лабораторних

робіт із курсу загальної фізики, які б не містили завдання графічного відображення експериментально отриманих результатів і подальшого порівняння, наприклад, з відомою теоретичною залежністю. Тому найбільшою методичною цінністю програм відеоаналізу типу Tracker є наявність системи аналізу табличних даних з апроксимацією отриманих результатів до математичної моделі процесу, відтвореного у відеозаписі.

Зауважимо, що ІЦД доповнює алгоритм наукового методу й процесу інженерного дизайну, які є основними у реалізації спеціалізованої освіти наукового спрямування. Розглянемо зазначене з використанням схеми, на якій суцільними лініями позначено етапи дослідження з використанням наукового методу, штриховими – вплив засобів ІЦД (рис. 9, штрихові лінії). Так, на етапі попередніх досліджень з'являється можливість побудови інтерактивної комп'ютерної моделі на основі сформованої теоретичної моделі. У процесі конструювання гіпотези в цьому випадку можна дослідити фактори впливу, які можуть видозмінювати інтерактивну модель. У процесі побудови експериментального пристрою є можливість імплементації чутливих елементів (датчиків, камер, аналізаторів). Процес аналізу даних спрощується додатковими можливостями візуалізації. На цьому ж етапі здійснюється безпосереднє порівняння отриманих даних з інтерактивною моделлю, в якій знову можна змінювати фактори впливу. Блок подання результатів може бути розширений функцією прогнозування перебігу досліджуваного процесу.

## Цифрова дидактика у міждисциплінарних дослідженнях

Відомо, що основним джерелом розвитку дидактики є позитивний інноваційний педагогічний досвід, теоретичні дослідження, а також здобутки різноманітних наук. На розвиток цифрової дидактики значно впливають міждисциплінарні дослідження, зокрема інтеграція інженерії і наук про життя. У сучасних навчальних програмах із природничих дисциплін активно використовується феноменологічний підхід, відповідно до якого увага зосереджується на міждисциплінарному розгляді реальних явищ і об'єктів (наприклад, організм людини, навколишнє середовище, енергозбереження тощо), що неможливе без використання цифрових технологій як інструменту візуалізації й оцінювання результатів експерименту, отримання та опрацювання даних різноманітного походження.

У запропонованому посібнику розглядаються прикладні аспекти цифрової дидактики дисципліни «Фізика». Однак загальновідомо, що обмін знаннями між дисциплінами завжди був частиною наукового життя. Більше того, у XXI ст. міждисциплінарність стала одним з пріоритетів наукової політики, незважаючи на значні перешкоди різного походження. На сьогодні міждисциплінарні дослідження й освіта є основною тенденцією в університетах та агентствах, що їх фінансують, на субнаціональному, європейському та міжнародному рівнях.

Яскравим прикладом цього є аналіз, виконаний Digital Science and King's College у Лондоні, майже 7000 тис. впливових науково-дослідних тем, поданих до Рамкової програми досліджень (Research Excellence Framework (REF)) у 2014 р. Подані матеріали, наведені REF, наочно демонструють вражаючі моделі міждисциплінарної співпраці, відповідно до яких майже дві третини науково-дослідних тем ґрунтуються на поєднанні різних дисциплін.

Дефініція міждисциплінарності (multiple disciplinary) детермінується характером взаємодії між дисциплінами, задіяними для реалізації дослідження. Найчастішими термінами, які трапляються в інформаційних джерелах, є мульти- (полі-), інтер- (крос-) та трансдисциплінарний підходи до вирішення практичних проблем. Словники подають такі значення для префіксів: «multi-» – багато, більше, ніж один; «inter-» – серед, між ними; взаємний, взаємно; «trans-» – через; понад, більше; в наступний період; на протилежному боці. Однак ці поняття часто використовуються поперемінно і синонімічно, що створює труднощі у розумінні як самих підходів, так і специфіки їх практичного застосування.

Міждисциплінарність у широкому розумінні складається з декількох позицій, наприклад, «взаємопроникнення, взаємозбагачення підходів і методів різних наук», «протидія надмірному звуженню предмета, сфери наукових досліджень», а також «науково-педагогічна новація, що породжує здатність побачити, розпізнати, сприйняти те, що є недоступним у межах окремо взятої науки з її специфічним, вузькоорієнтованим об'єктом, предметом та методами дослідження».

Відповідно до отриманих результатів існує певна кореляція між розвитком технологій і частотою вживання зазначених термінів: синонімічні до міждисциплінарності дефініції почали з'являтися у літературних джерелах останньої третини XX ст. Причому наймолодшим, очевидно, є термін «трансдисциплінарність»: його систематичне використання у літературних джерелах спостерігається з початку XXI ст. і пов'язане зі змінами методології наукових досліджень, які нині є переважно практикоорієнтованими і виходять за дисциплінарні межі (рис. 13).

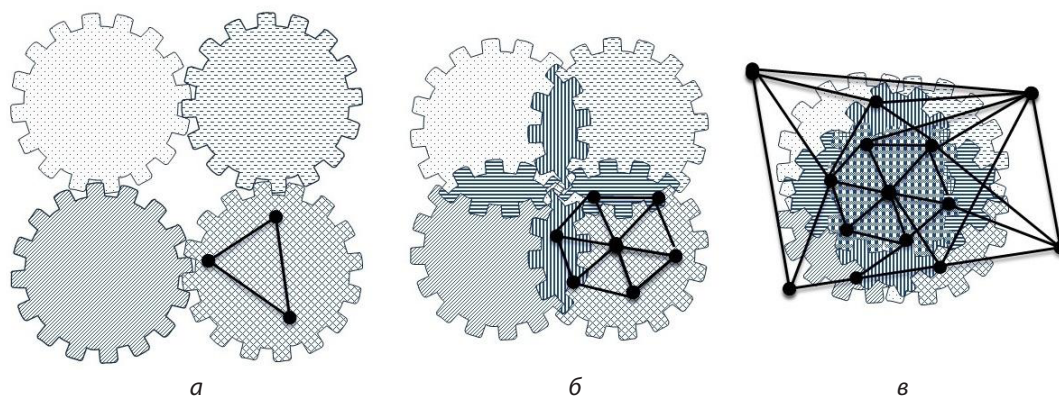


Рис. 13. Схематичне зображення мульти- (а), інтер- (б) і трансдисциплінарності (в) («шестерні» символізують гностичні поля окремих дисциплін, точки – проблемні питання)

Дослідження наведених дефініцій дає підстави зазначити таке:

- мультидисциплінарність (можливий синонім «адитивність») означає взаємодію дисциплін у процесі певного дослідження без поєднання методів і засобів відповідних онтологій (наприклад, незалежна експертиза проблеми збільшення захворюваності на цукровий діабет фахівцями декількох галузей медичної науки у спільному комплексному дослідженні);
- інтердисциплінарний підхід (можливий синонім «інтерактивність») до вирішення проблеми здійснюється через розгляд однієї дисципліни з використанням інструментарію і методів іншої (наприклад, залучення міждисциплінарної команди професіоналів для роботи над складним проектом, успішна реалізація якого потребує декількох наборів навичок або галузей знань);
- трансдисциплінарний підхід (можливий синонім «цілісність») є найбільш складною формою міждисциплінарності: його застосування зумовлює здобування якісно нових (трансдисциплінарних) знань, які не належать до гностичного поля жодної зі складових онтологій (наприклад, екологічна економіка виходить за стандартні межі екології й економіки).

Міждисциплінарний підхід є результатом співпраці із залученням двох або більше дисципліни, унаслідок чого утворюється певний рівень інтеграції знань. Відповідна діяльність передбачає розроблення нового інструменту дослідження, що поєднується з інструментами, що використовуються всіма задіяними науками, орієнтованими на цю конкретну проблему. Наприклад, інтердисциплінарне поєднання медицини й атомної фізики створило нову технологію лікування раку, застосування математичних методів у фізиці зумовило появу математичної фізики, а їх поєднання у розгляді метеорологічних явищ або процесів на фондовому ринку призвело до створення теорії хаосу, перенесення методів з фізики елементарних частинок в астрофізику лежить в основі квантової космології, застосування комп'ютерних методів опрацювання зображень спричинило виникнення комп'ютерного мистецтва (computer art). Застосування міждисциплінарних підходів для розв'язання комплексних практичних проблем також приводить до виникнення нових дисциплін. Так, наприклад, квантове опрацювання інформації поєднує елементи квантової фізики та інформатики, біоінформатика поєднує молекулярну біологію з інформатикою тощо.

Педагогічна практика свідчить, що реалізація міждисциплінарних проектів «у чистому вигляді» у середній та вищій школі є доволі складним науково-методичним завданням, успіх якого обумовлений, насамперед, визначенням оптимального об'єкта і подання предметів дослідження у вигляді проблемно-орієнтованого завдання. Вочевидь, цей етап відбувається за тісної взаємодії викладачів різних дисциплін, методистів і науковців, зусилля яких об'єднуються в навчально-наукових інноваційних середовищах, як, наприклад, віртуальний STEM-центр Малої академії наук України «STEM-лабораторія МАНЛаб». Зазначимо, що у переважній більшості досліджень для отримання, опрацювання та інтепретації даних пропонується застосування широкого спектру сучасних інформатичних засобів: від цифрових вимірювальних комплексів<sup>5</sup> до програм опрацювання відео- і аудіофайлів, що перебувають у вільному доступі в мережі<sup>6</sup>.

Основними причинами, які детермінують необхідність залучення до досліджень декількох дисциплін, є вирішення реальних соціально значущих завдань (екологічних, технічних, економічних), техніко-технологічна складність реалізації актуальних артефактів (водневі паливні елементи, біоінформатика, автоматизація виробництва тощо), необхідність порівняння різних поглядів на проблему, потреба у створенні нових перспективних теорій, забезпечення широкого спектру послуг тощо.

Зауважимо, що для реалізації завдання у запропонованому дослідженні необхідним є залучення знань переважно з біології та фізики, а також інформатичних навичок, пов'язаних з використанням цифрового обладнання для збирання і аналізу даних дослідження. Динамічну взаємодію цих складових можна об'єднати через систему керування даними дослідження (рис. 14).

Академічні установи організовані на дисциплінарних засадах, але як соціальні потреби, так і еволюція науки вимагають переосмислення процесу створення знань. Дослідження показало, що міждисциплінарна взаємодія є необхідним доповненням «чистих» дисциплін і детермінується потужними науковими і суспільними потребами. Інтердисциплінарність є характерною ознакою STEM-підходу до навчання. Успішне використання потенціалу міждисциплінарних досліджень потребує збереження правильного балансу між фундаментальними дисциплінами і міждисциплінарністю.

Зауважимо, що фундаментальні дисципліни повинні залишатися ядром академічної системи, оскільки саме вони створюють засади структурування і розуміння світу. Однак генерація ідей посідає центральне місце у створенні нових знань, тому взаємодія між дисциплінами є способом збільшення потенціалу, розширення меж і рушійною силою створення знань. Отже, інтердисциплінарність є важливою

<sup>5</sup> наприклад, цифрового мікроскопа (<http://minisee.software.informer.com/1.1/>)

<sup>6</sup> наприклад, Tracker (<http://physlets.org/tracker/>)

для еволюції та постійної реконфігурації дисциплін, а відповідні дослідження мають на меті не замінити, а доповнити дисциплінарні дослідження.

Слід наголосити на тому, що ґрунтовні дисциплінарні знання є основою ефективного інтердисциплінарного дослідження. Це стосується як наукового підходу «знизу – вгору», що впливає з потреб конкретної дисципліни і відповідає академічно орієнтованим фундаментальним дослідженням, так і підходу «згори – вниз», метою яких є більш глибоке розуміння актуальних соціальних питань. Оскільки відмінна особливість комплексних науково-інтенсивних університетів повинна бути більшою, ніж сума частин, для університетів важливо розвивати як дисциплінарність, так і міждисциплінарність.



Рис. 14. Міждисциплінарність ІЦД

У міждисциплінарних дослідженнях існують значні ризики, зокрема тому, що для досягнення такого рівня, на якому інтеграція спонукатиме до здобуття нового знання як у фундаментальних, так і у прикладних дослідженнях, потрібно багато зусиль і часу, тому важливе значення має ефективне управління відповідними проектами.

Цифрова дидактика забезпечує інтеграцію навчальних дисциплін і може бути успішно використана для формування проблемо-орієнтованих навчально-дослідних завдань. Найбільш цінними при цьому є такі з них, які можуть бути методично легко і логічно розвинуті від простих, орієнтованих на отримання переважно знань з окремих навчальних предметів, до складних, які, залучаючи соціальні науки, формують наукову картину світу і сприяють якнайшвидшому розвитку ключових навичок XXI ст.

Подальшими перспективами у дослідженні інтердисциплінарного підходу у цифровій дидактиці є створення банку завдань, придатних для використання у середній та вищій школі, позашкільній освіті, їх упровадження у педагогічну практику і дослідження педагогічного результату. Інший важливий аспект стосується дослідження динаміки взаємодії різновидів міждисциплінарності, а саме, взаємодії та взаємної трансформації транс-, інтер- і мультидисциплінарності у дослідженнях, навчанні та, зокрема у STEM-освіті.

Дедалі реальнішим стає процес надання освітніх послуг на *дистанційному рівні*. Створення сайтів дистанційної освіти відповідно потребуватиме кадрового забезпечення консультантів, обізнаних у галузі Web-ресурсів і здатних підтримувати спілкування з учнем / студентом на достатньому технологічному рівні. Уміння учителя / викладача мислити на «інформаційній хвилі» комп'ютерного забезпечення ставить його на рівень наставника і помічника у діалозі зі студентом, дозволяє бути для нього цілевизначальним авторитетом для розширення його гностичного поля.

Як бачимо, цифровізація зміщує методичне забезпечення навчального процесу у напрямі раціонального перерозподілу функцій, покладених на учителя / викладача й учня / студента, цифрові засоби отримання даних і комп'ютер. Проте це жодним чином не мінімізує значення жодного з учасників цього процесу. Створення нових методик, націлених на оволодіння новим програмним забезпеченням і вдосконалення умінь раціонально їх використовувати – це вимога нового освітнього середовища.

## Розвиток цифрової дидактики засобами STEM-лабораторії «МАНЛаб»



**Всеукраїнський  
науково-методичний  
віртуальний STEM-центр  
«STEM-лабораторія МАНЛаб»**

Науково-педагогічними працівниками лабораторії «МАНЛаб» Національного центру «Мала академія наук України» упродовж 2013–2019 рр. розроблено й апробовано за участю вчителів та учнів усіх регіонів України лабораторні роботи, навчально-наукові дослідження з використанням можливостей сучасного цифрового обладнання (вимірювальних комплексів, цифрових відео / аудіозасобів та мікроскопів, аналітичних та моделювальних програм), що є значущим внеском у розвиток теорії і практики цифрової дидактики в Україні.

Запропоновані навчально-наукові дослідження, які відповідають навчальним програмам з фізики для 7–11 класів для загальноосвітніх та профільних шкіл і дають можливість дослідити відхилення натурального експерименту від теоретичної моделі, а також побудувати та порівняти теоретичну модель з наслідками натурального дослідження. Зазначене можна виконати, зокрема, шляхом доповнення і трансформування теоретичної моделі до майже повного збігу з реальними (неідеалізованими) результатами.

Практичним результатом діяльності фахівців відділу створення навчально-тематичних систем знань Національного центру «Мала академія наук України» (НЦ «МАНУ») стало створення більше 30 лабораторних робіт з фізики як практичного впровадження цифрової дидактики, в яких поєднано цифрові, психолого-педагогічні та ін-

формаційні технології. Запропоновані методики, створюючи можливості для розвитку суб'єкта освіти від виконання алгоритмізованих досліджень до побудови математичних моделей явищ і інженерно-наукового прогнозування, по суті містять ознаки інноваційних систем управління знаннями у сучасному освітньому середовищі.

**Усі лабораторні роботи викладені на ресурсі [www.stemua.science](http://www.stemua.science) у вільному доступі.**

Особливої уваги у контексті розвитку цифрової дидактики заслуговують віртуальні середовища STEM-освіти як, наприклад, навчально-наукове інноваційне середовище «STEM-лабораторія "МАНЛаб"», функціонування якого забезпечується відділом створення навчально-тематичних систем знань НЦ «МАНУ» у віртуальному та реальному режимах. Це – портал, який містить декілька груп даних або інформаційних блоків. Так, дані для вчителів про загальну методологію реалізації STEM / STEAM-проектів і засади цифрової дидактики викладено у розділі «Методичний кабінет».

Ідеї та методичні розробки навчально-наукових STEM / STEAM-досліджень для учнів викладено у розділах «Дослідницькі роботи» і «Методики». Зауважимо, що дослідження з природничих і гуманітарних дисциплін, які викладено у формі дослідницьких робіт, згруповано за підрозділами:

- Science – відповідно до шкільних природничих дисциплін: фізика, астрономія, хімія, біологія, географія, мінералогія та екологія;
- Technology – відповідно до сучасних технологій: біотехнологія, матеріалознавство, інформаційні, хімічні, нано-, харчові, медичні технології та енергетика;
- Engineering – моделювання, прототипування, технологічне проектування, патентна діяльність, конструкторське проектування;
- All – відповідно до шкільних гуманітарно-економічних дисциплін: українська та іноземні мови, історія, мистецтво, дизайн, економіка, правознавство;
- Math – алгебра, геометрія, вища математика.

Розділ «Тестування» порталу «STEM-лабораторія "МАНЛаб"» містить дистанційний інструментарій діагностування інтересів дитини до природничих дисциплін та дозволяє долучатися до індивідуальних і групових дослідницьких практик у віртуальному й реальному режимах.



З іншого боку, навчальне середовище «STEM-лабораторія "МАНЛаб"» має такі особливості в його складових:

- інформаційно-технологічну: навчальні програми, методичні матеріали, віртуальні лабораторії;
- просторово-матеріальну: обладнання провідних вітчизняних та закордонних виробників;
- соціально-особистісну: учні закладів загальної середньої і позашкільної освіти, студенти закладів вищої освіти, наукові, науково-педагогічні та педагогічні кадри, фахівці-волонтери з різних галузей виробництва та ентузіасти розвитку STEM-освіти в Україні.

Методичні розробки теоретико-методичних засад щодо організації навчальних досліджень, дослідницьких практикумів, навчально-наукових експедицій з використанням цифрового обладнання виконані співробітниками лабораторії «МАНЛаб» НЦ «МАНУ», довели свою ефективність, їх апробація в практичній діяльності літніх наукових шкіл, у заходах проєкту «Відкрита освітня лабораторія» є першим кроком щодо розвитку теорії і практики цифрової дидактики в Україні.

«STEM-лабораторія "МАНЛаб"» також здійснює науково-методичний супровід діяльності літніх природничих шкіл ([http://man.gov.ua/ua/activities/litni\\_shkoly](http://man.gov.ua/ua/activities/litni_shkoly)) – одного з багатьох освітніх проєктів НЦ «МАНУ». На базі Міжнародного центру дитячої наукової творчості НЦ «МАНУ» учні мають можливість під керівництвом фахівців НЦ «МАНУ» та науковців працювати над науковими й інженерними проєктами, формувати і розвивати вміння ставити завдання і виробляти план дій, здобувати досвід командної роботи над реальним науково-дослідницьким проєктом, розширювати та поглиблювати знання у цікавих галузях науки, ефективно презентувати проєкти декількома мовами. Наведемо приклади дослідницьких проєктів, запропонованих на одній з фізичних шкіл: дослідження ультразвукового капілярного ефекту, дослідження фотоакустичного ефекту, дослідження акустичної лінзи з повітряної кульки, дослідження зміни звуку під час обертання диска Ейлера, дослідження звукових коливань, що виникають у разі зіткнення керамічних магнітів сферичної форми.

Отже, освітнє середовище STEM-лабораторії «МАНЛаб» є навчально-науковою методичною платформою, яка репрезентує інноваційний педагогічний досвід, інтегруючи цифрову дидактику і STEM-підхід у формуванні дослідницьких робіт. Воно є системою, інтегрованою із соціокультурним оточенням, а отже, гнучкою і чутливою до зовнішніх впливів, наприклад, техніко-технологічних.

*Цифрова дидактика* – результат взаємодії психолого-педагогічних, інформаційних і цифрових технологій з використанням трансдисциплінарного підходу до формування навчальних середовищ з матеріальною та інформаційно-технологічною складовими, що ґрунтуються на сучасних цифрових засобах навчання. Вона спрямована на їх ефективне використання як методу, так і результату навчання усіма учасниками освітнього процесу у XXI ст. Цифрова дидактика є логічним продовженням традиційної теорії навчання в умовах сучасного світу.

## Технології, які змінюють освіту

Розглянемо основні тренди, які радикально змінюють формальне і неформальне освітнє середовище:

- *цифрові реальності*: доповнена (Augmented Reality (AR)), віртуальна (Virtual Reality (VR)) та змішана (Mixed Reality (MR))<sup>7</sup>;
- *цифрові навчально-наукові лабораторії* для спільної командної роботи: хмароорієнтовані, що містять набори всіх пристроїв, необхідних для дослідження<sup>8</sup>, з відповідно умебльованими (Smart Desk) і обладнаними навчальними приладами для різноманітних активностей (творчості, дослідження, розвитку, презентування, інтерактивної взаємодії, обміну даними), наприклад, *Future Classroom Lab* (рис. 15);



Рис. 15. Future Classroom Lab by European Schoolnet

- *інтеграція формальної і неформальної освіти* за активної участі університетів<sup>9</sup>;
- *штучний інтелект* (Artificial Intelligence (AI)), який доповнює роботу учителя, наприклад, віртуальна консультаційна служба (IBM Watson, Chat bots, Cognii) (рис. 16);
- *персоналізоване навчання*: від вибору школи (державної, приватної, віртуальної), змішаного навчання (використання Інтернету для реалізації індивідуальної навчальної траєкторії, у тому числі варіативність контролю, часу, місця, шляхів та / або темпу навчання) до адаптивної технології навчання, через яку здійснюється постійний аналіз даних учнів / студентів у реальному часі, на основі чого автоматично змінюється або зміст, або порядок формування навичок; це дозволяє учням / студентам взаємодіяти з інформацією та з координаторами навчання у власному темпі, обирати індивідуальні навчальні траєкторії за допомогою доступного автоматичного і прогнозованого зв'язку;

<sup>7</sup> Численні потужні компанії (наприклад, Apple, Google, Facebook, Microsoft, Sony) інвестують у нові форми взаємодії між людьми та комп'ютерами (Human-Computer Interaction (HCI)), відвідання віртуальних екскурсій з окулярами HoloLens від Microsoft



<sup>8</sup> Наприклад, у 2014 р. у навчальних закладах США було використано понад три мільйони комп'ютерів Chromebook.

<sup>9</sup> Інша назва science talent search, inquiry based learning.

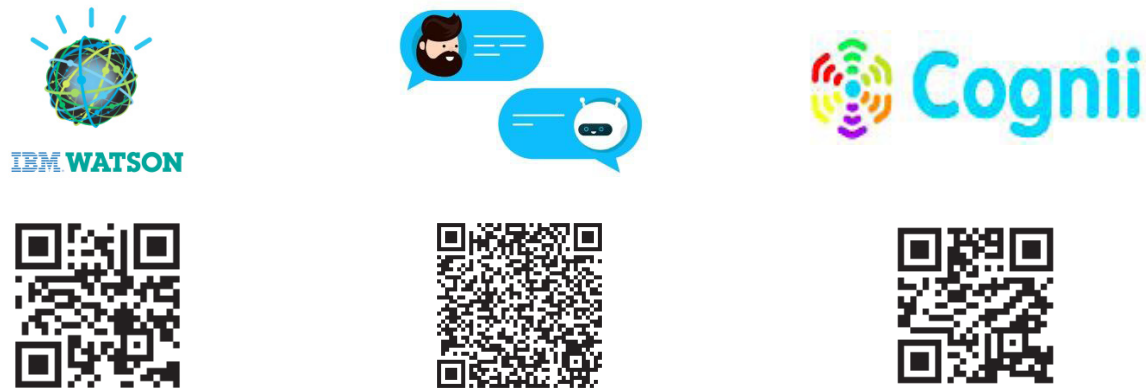


Рис. 16. Штучний інтелект у навчальному процесі (IBM Watson, Chat bots, Cognii)

- *гейміфікація* і *симуляція*: ігрові технології роблять складне навчальне завдання більш цікавим й інтерактивним, оскільки технологія швидко прогресує, вона використовується для виховних ігор у кожній дисципліні як індивідуально, так і спільно через повторювані та продумані дії у безпечному мультисенсорному середовищі, призначеному для імітації реального життя; окрім того, віртуальні ігрові світи надають унікальну можливість застосовувати нові знання і приймати критично важливі рішення, визначаючи перешкоди, розглядаючи численні перспективи, випробовувати різні відповіді; в іграх існує миттєвий зворотний зв'язок, і це створює власну позитивну мотивацію кожного учня;
- *інтернет речей (IoT)*, наприклад, Promethean – інтерактивні дисплеї з технологією мультимедіа, сухого витирання, природного письма з програмним забезпеченням для доставки уроків на основі хмарних технологій і персонального навчання викладачів, Scanmarker, який дає змогу через дротовий / бездротовий зв'язок сканувати і редагувати текст із будь-яких носіїв безпосередньо на гаджет з подальшою можливістю його перекладу більш ніж 40 мовами, існує навіть функція прослуховування під час сканування; LocoRobo – провайдер навчання програмування та робототехніки, використовує роботів для навчання мов кодування, таких як Python, C, Javascript та MatLab, а курс LocoIoT навчає будувати, проектувати і підключати системи IoT з нуля; Kaltura дає змогу учням / студентам і викладачам створювати, редагувати і поширювати високоякісне відео наживо або на будь-який гаджет з кінцевою метою взаємодії та творчості; з використанням Tynker діти починають навчатися і кодувати за допомогою блоків візуального коду, що допомагає зрозуміти концепцію програмування, перш ніж перейти до популярних мов, таких як JavaScript та Python; ці навички можуть бути застосовані до програмування дронів, додатків, ігор, роботів тощо (рис. 17);



Рис. 17. Інтернет речей в освіті  
(Promethean Scanmarker, LocoRobo Kaltura Tynker)

- технологія *Blockchain* – майбутній мейнстрім у сфері освіти, спрямований на підтримку навчання упродовж усього життя, зокрема потенційний роботодавець може використовувати автоматизований бот для пошуку Web-профілів необхідних співробітників (рис. 18).



Рис. 18. Сучасні технології в освіті

## Лабораторна робота № 1.

### Дослідження прямолінійного рівноприскореного руху

**Мета роботи:** дослідити рух тіла, що рухається з прискоренням, за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів.

#### Завдання роботи:

1. Ознайомитися з правилами створення відеозапису руху тіла.
2. Створити відеозапис рівноприскореного руху або завантажити готовий з ресурсу.
3. За допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів отримати графік руху тіла та графік швидкості тіла.
4. Використовуючи математичний апарат програмного забезпечення, обчислити прискорення руху тіла графічним методом.

**Обладнання:** ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера, лінійка, іграшковий автомобіль або інші тіла, рух яких буде досліджуватися.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

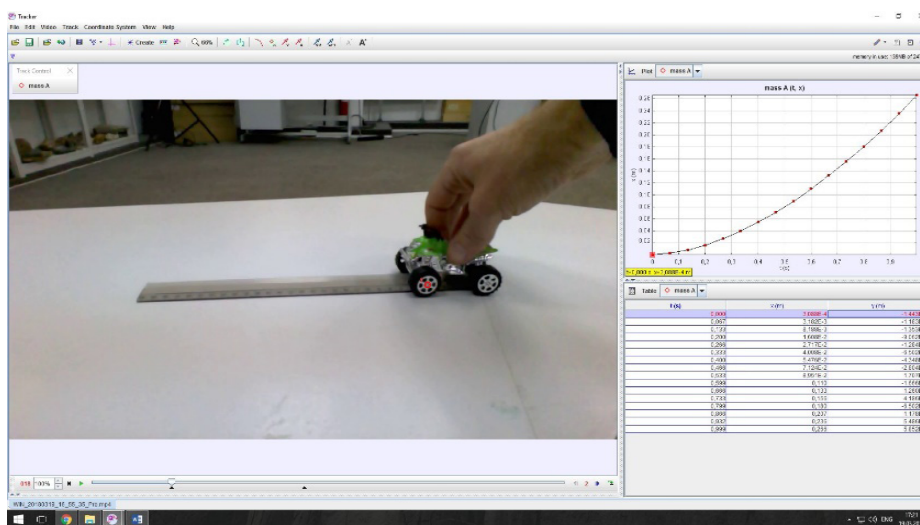


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Tracker – це безкоштовний інструмент аналізу відео, побудований на платформі Java Open Source Physics (OSP). Він призначений для використання у фізиці та інших галузях, де вивчаються рухомі об'єкти. Tracker також має можливість об'єднати відео з комп'ютерним моделюванням (рис. 1).

Особливостями вказаного програмного забезпечення є:

- ручне та автоматичне відстеження об'єктів із накладанням маркерів позиції, швидкості та прискорення;
- моделювання з можливістю створення кінематичних та динамічних моделей руху матеріальних точок і двокомпонентних систем. Накладені моделі автоматично синхронізуються та масштабуються у відео для прямого візуального порівняння з реальним процесом;
- використання відеофільтрів, які враховують перспективні спотворення й ефект об'єктива типу «риб'яче око»;

- можливість використання вимірювальних інструментів, таких як лінійка, транспортир;
- потужний інструмент аналізу даних, який містить автоматичні і ручні настройки кривих;
- використання ресурсів цифрових бібліотек.

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення прискорення руху іграшкового автомобіля, якого він набуває під час руху з положення спокою за рахунок пружинного рушія або будь-якого іншого рухомого тіла, яке використовується при виконанні роботи.

Прямолінійний рівноприскорений рух тіла характеризується величиною і напрямком прискорення  $\vec{a}$ . Для аналізу цього руху обирають вісь координат  $Ox$  так, щоб вона була паралельною траєкторії руху тіла. У цьому випадку вираз для визначення значення проекції миттєвої швидкості руху має вигляд:

$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (1)$$

Графіком швидкості тіла буде відрізок прямої, нахилений під певним кутом до осі часу, оскільки ця залежність є лінійною. За умови, якщо тіло розпочинає свій рух зі стану спокою ( $v_{0x} = 0$ ), графік розпочинається з початку координат. Кут нахилу графіка визначається значенням проекції прискорення руху тіла. Встановивши вигляд рівняння прямої, можна визначити знак і значення проекції прискорення руху тіла.

Рівняння руху тіла при рівноприскореному русі має вигляд квадратичної залежності:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (2)$$

Тому графіком руху тіла буде частина параболи. Встановивши вигляд рівняння цієї параболи, також можна визначити знак і значення проекції прискорення руху тіла.

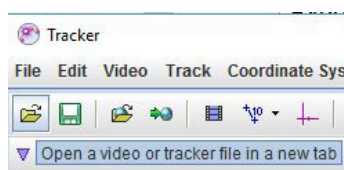
## Хід роботи

### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на поверхні столу лінійку, попередньо з'ясувавши її довжину.
2. Надайте пружині двигуна автомобіля невеликого стиснення, обертаючи колеса автомобіля, і встановіть його поверх лінійки. Відпустіть автомобіль і прослідкуйте, щоб він рухався вздовж лінійки.
3. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. З'ясуйте, з якою частотою буде відбуватися зйомка відео (більшість пристроїв за замовчуванням роблять 30 кадрів на секунду).
4. Установіть пристрій так, щоб лінійка і рухомий автомобіль повністю потрапляли в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
5. Розпочніть запис відео і повторіть крок 2. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

### Частина 2. Опрацювання відео

6. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не дозволила завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 2).

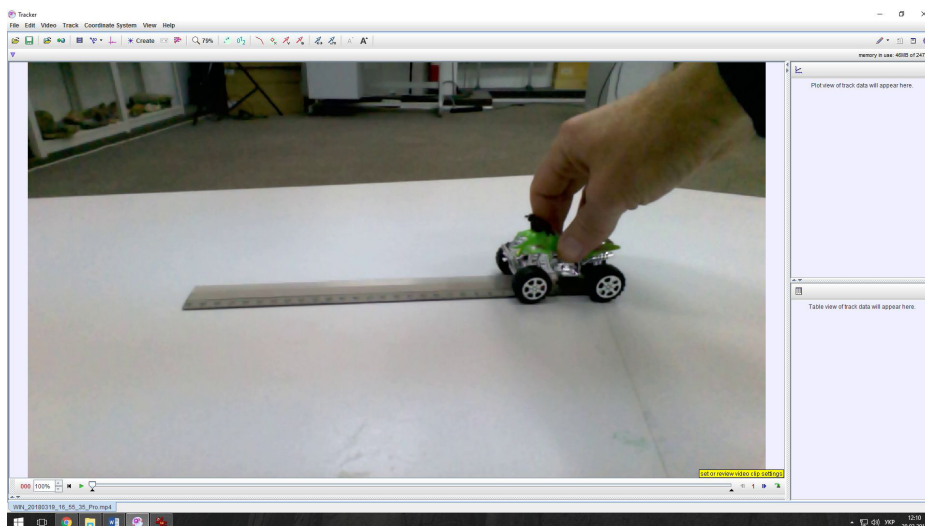
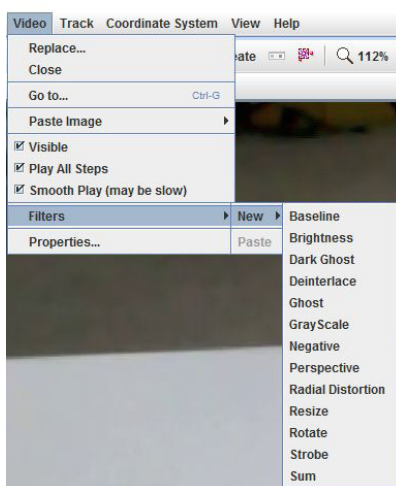



Рис. 2. Видяг вікна програми Tracker після завантаження відео

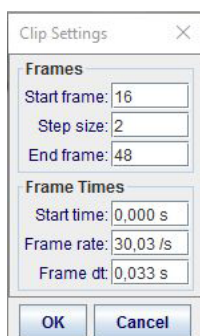
7. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис. Якщо об'єкти пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





8. Установіть номер кадру, з якого розпочався рух автомобіля, та номер кадру, коли він дійшов до краю лінійки. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового і кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.



10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації руху автомобіля. Наприклад, сумістіть її з центром переднього колеса автомобіля. Осі координат можуть повертатися. Програйте момент руху до кінцевого кадру та «проверніть» вісь так, щоб вона проходила через цю саму точку на кінцевому кадрі. Повертати систему координат можна, обравши вісь маніпулятором. Додатний напрямок на осі визначається короткою рискою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятує.

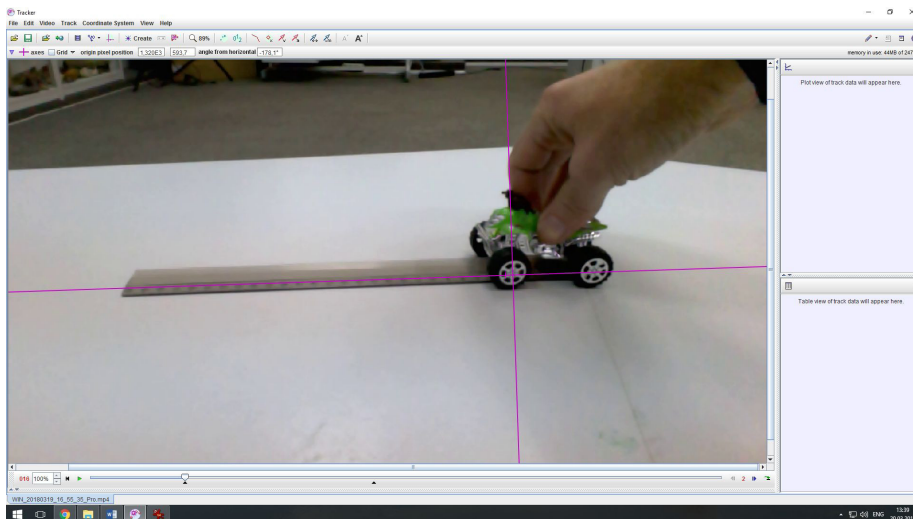




Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

11. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. Над відрізком необхідно в цифровому полі ввести значення довжини цього відрізка в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятує його положення і довжину (рис. 3).

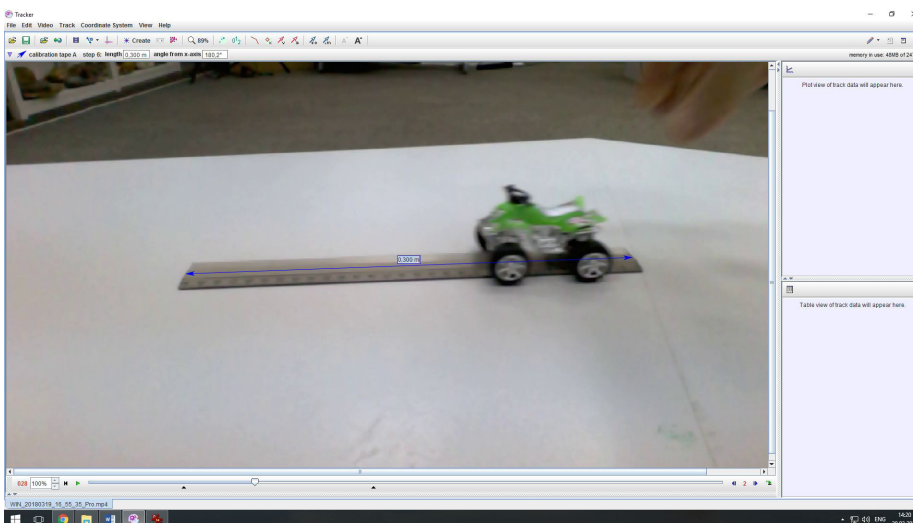
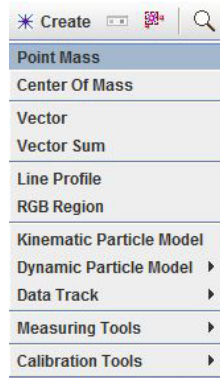


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка



12. Для відстежування руху автомобіля оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



13. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.

14. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Повторюйте ці кроки до останнього обраного кадру (рис. 4).

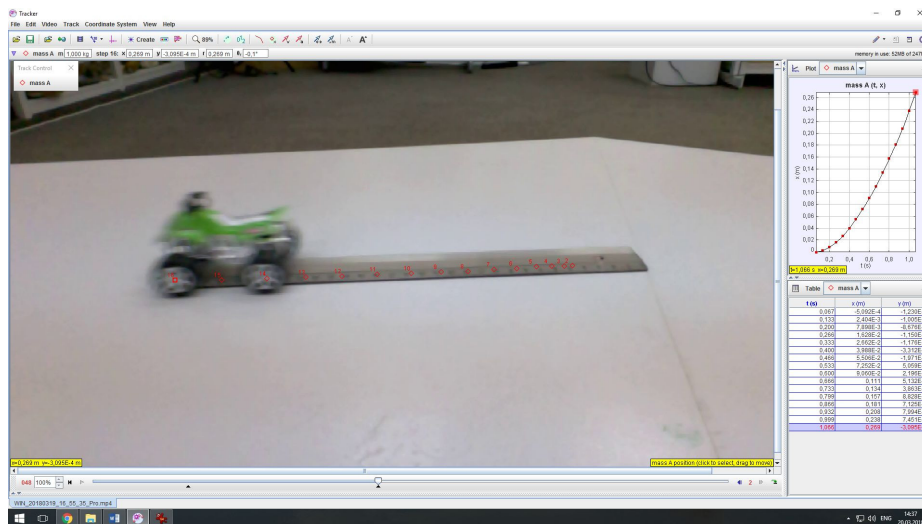
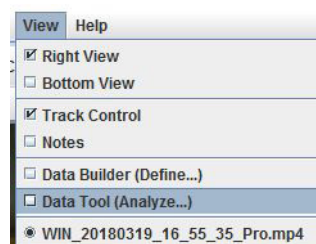


Рис. 5. Вигляд вікна програми Tracker після відстежування руху автомобіля

15. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Якщо вісь координат OX обрана вздовж руху автомобіля і спрямована в напрямку його руху, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 5.

### Частина 3. Аналіз даних

16. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



17. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею.

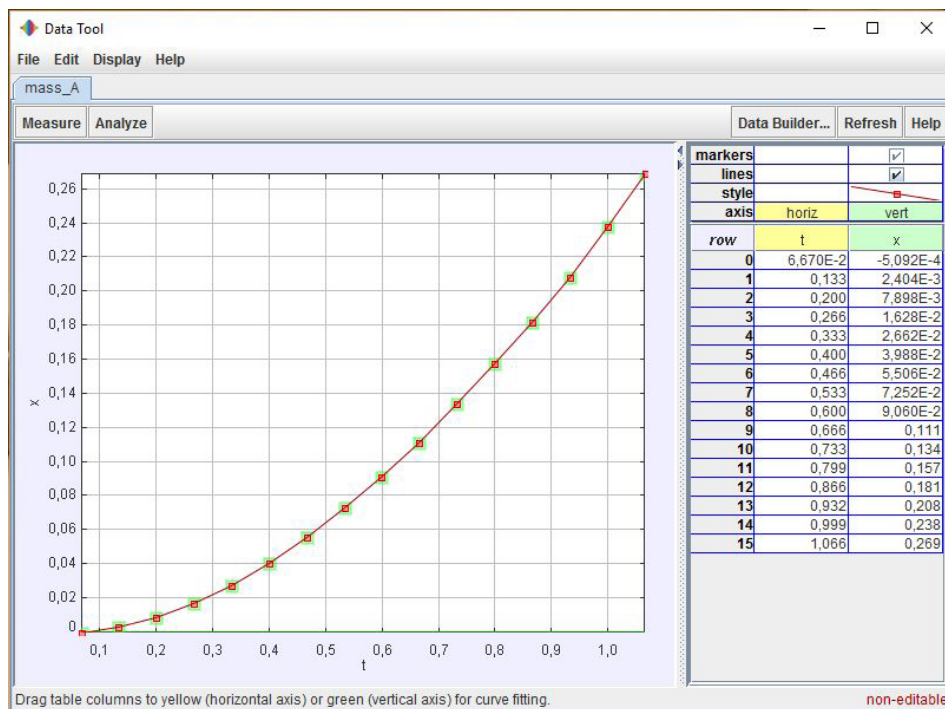


Рис. 6. Вигляд вікна Data Tool

18. Оскільки графік  $x(t)$  є частиною параболи, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Як значалося попередньо, рівняння руху автомобіля (2) у такому випадку матиме вигляд квадратичної функції. У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a_x/2$ . Звідси проекція прискорення  $a_x = 2A$ . Для визначення прискорення автомобіля необхідно знайти коефіцієнт  $A$  та помножити його на 2. Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік параболу.
19. Оберіть вкладки Analyze → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася параболу та під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболи (рис. 6).

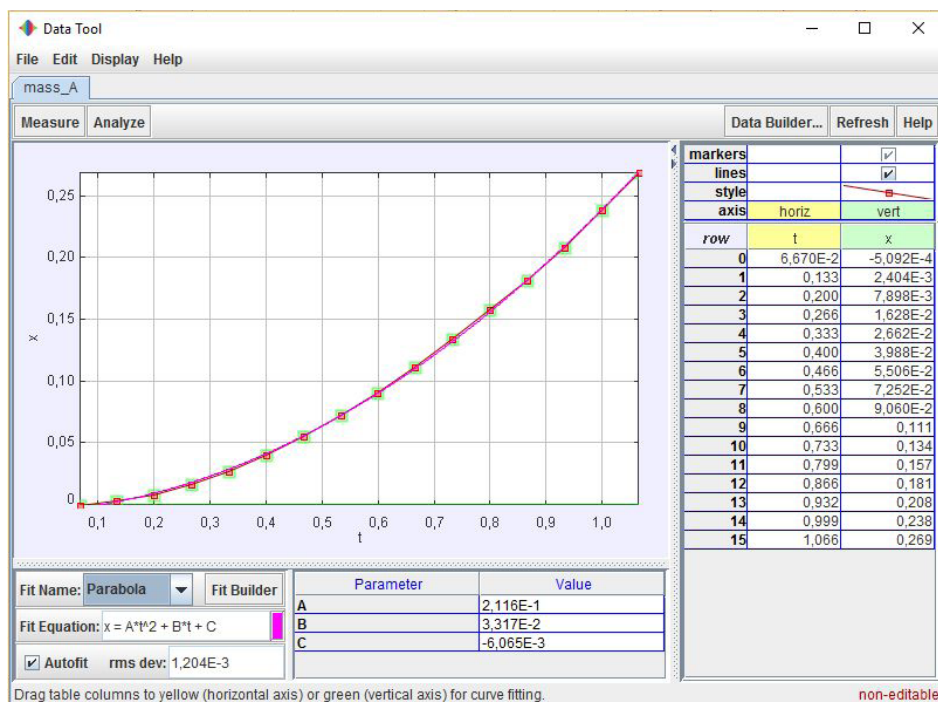


Рис. 7. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболи

20. Розрахуйте прискорення руху автомобіля за коефіцієнтом  $A$  і зазначте його у висновку. Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді.
21. Закрийте вікно Data Tool і перейдіть до вікна графіка у правій частині основного вікна. Обравши позначку вертикальної осі, виберіть зі списку величин проекцію миттєвої швидкості на вісь  $v_x$ . У правій частині з'явиться графік швидкості тіла. Оскільки програма для його побудови бере значення зміни координат точок, що відзначалися вами при обробленні відео протягом однакових проміжків часу, точки графіка не обов'язково будуть утворювати пряму (рис. 7).
22. Відкрийте знову вікно Data Tool та видаліть у верхній частині таблиці позначки біля колонки координат, щоб залишився тільки графік швидкості (рис. 8).

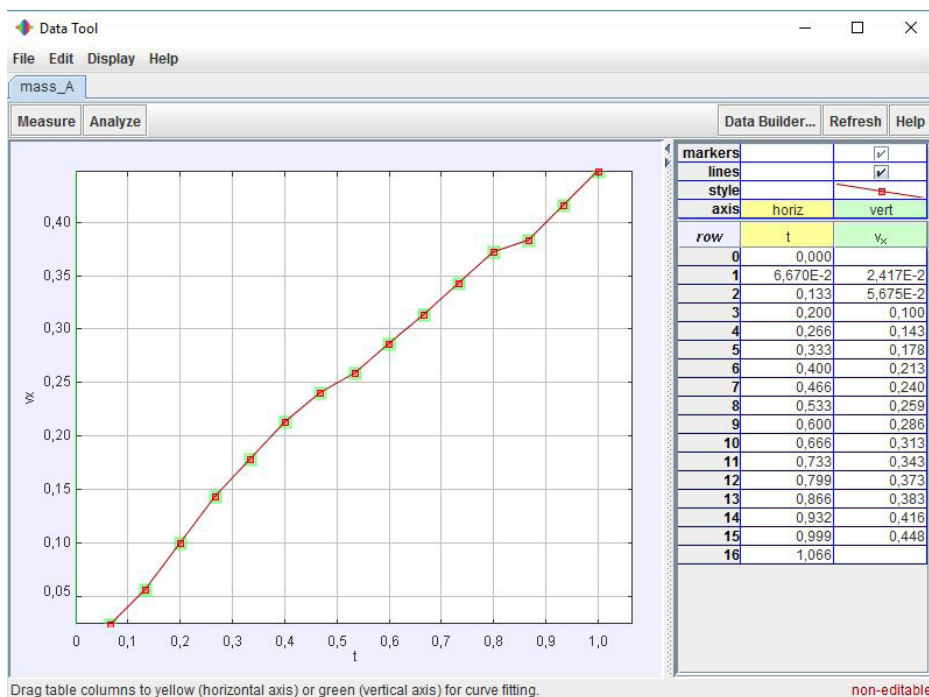


Рис. 8. Вигляд вікна Data Tool для проєкції швидкості

23. Оберіть вкладинку Analyse → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Line. Поверх графіка руху з'явилася пряма, під нею – значення коефіцієнтів (рис. 9).

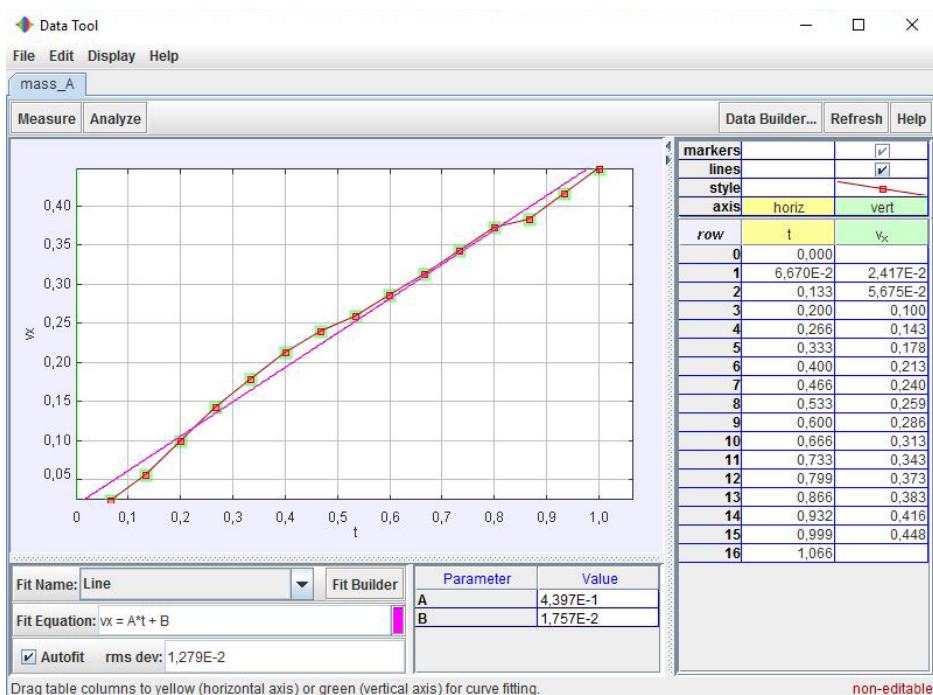


Рис. 9. Вигляд вікна Data Tool після накладання прямої

24. У загальному вигляді рівняння (1) має вигляд лінійної функції  $f(x) = Ax + B$ , де коефіцієнт  $A$  і є прискорення руху тіла. Його значення може відрізнитися від значення отриманого при накладанні параболи на графік руху тіла в силу умов побудови графіка. Тому більш точним значенням буде саме значення, отримане при накладанні параболи.

## Лабораторна робота № 2.

### Вимірювання прискорення вільного падіння

**Мета роботи:** визначити значення прискорення падіння тіла за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів.

#### Завдання роботи:

1. Провести експеримент із різними тілами та створити відеозаписи їх падіння.
2. Визначити значення прискорення падіння тіл і порівняти їх зі значенням прискорення вільного падіння.

**Обладнання:** тенісний м'яч, тенісна кулька, гумова кулька-стрибунець, лінійка або розграфлена поверхня, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

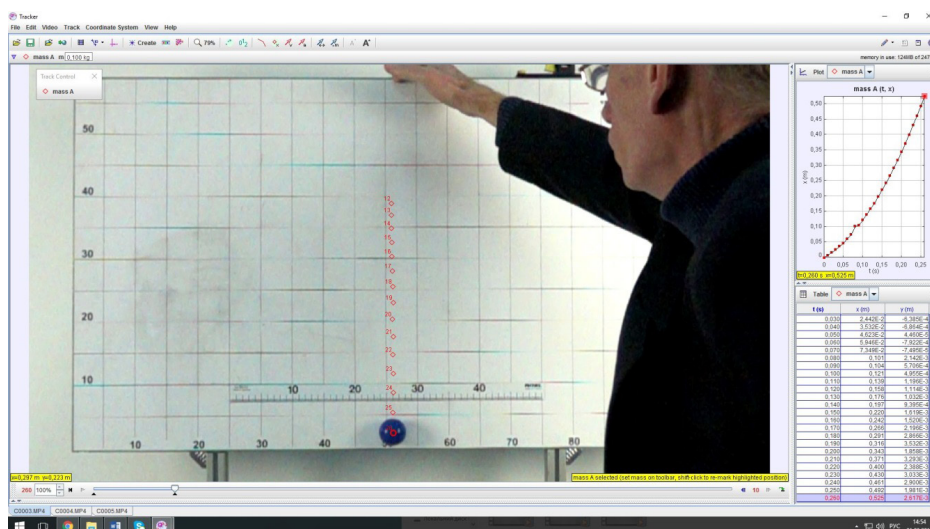


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення прискорення падіння різних предметів: гумової кульки-стрибунця, тенісного м'яча і тенісної кульки. Падіння цих предметів відбувається у повітрі, тому воно лише наближено відповідає умовам, за яких відбувається вільне падіння тіл. Метою роботи є порівняти прискорення руху цих предметів та виявити вплив середовища на його значення (рис. 1).

#### Хід роботи

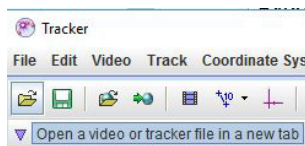
##### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть розграфлену поверхню або лінійку з добре помітними поділками строго вертикально.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте максимально можливу частоту зйомки відео (240–1000 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб лінійка або розграфлена поверхня та рухомі тіла повністю потрапляли в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.

4. Розпочніть запис відео і вільно відпустіть тіло. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант.
5. Повторіть запис відео для двох інших тіл. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

### Частина 2. Опрацювання відео

6. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



7. Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 2).

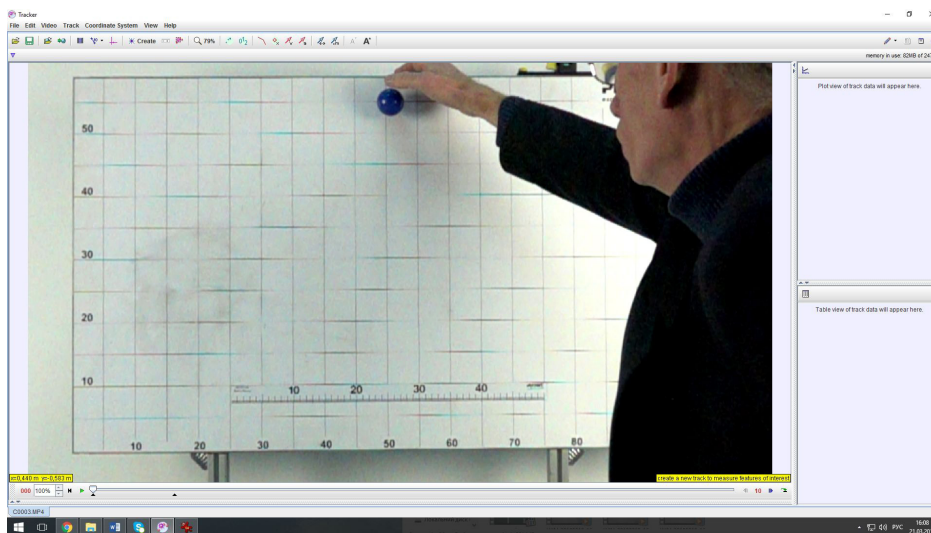
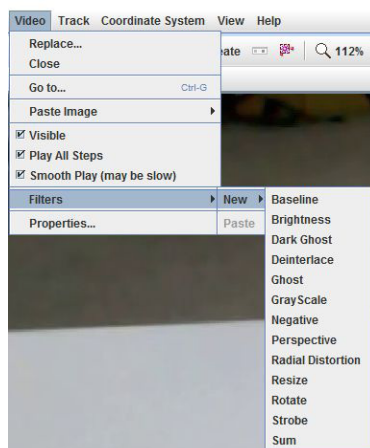
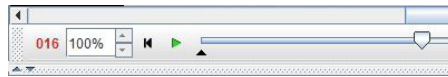



Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

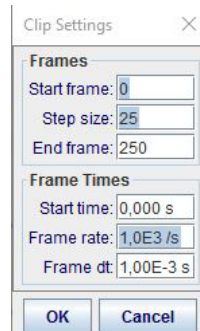
8. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
9. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





10. Установіть номер кадру, з якого розпочався рух тіла, та номер кадру, коли тіло покинуло кадр. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



11. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.



12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з центром тіла на початку руху. Осі координат можуть повертатися. Програвте момент руху до кінцевого кадру та «перевірте» вісь так, щоб вона проходила через цю саму точку на кінцевому кадрі. Повертати систему координат можна, обравши вісь маніпулятором. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує.

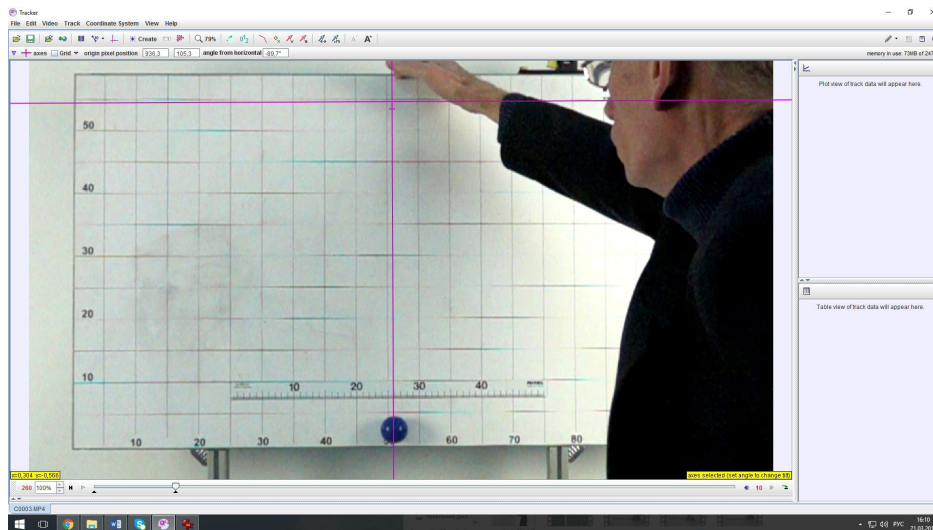




Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

13. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. Над відрізком необхідно в цифровому полі ввести значення довжини цього відрізка в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятовує його положення та довжину (рис. 3).

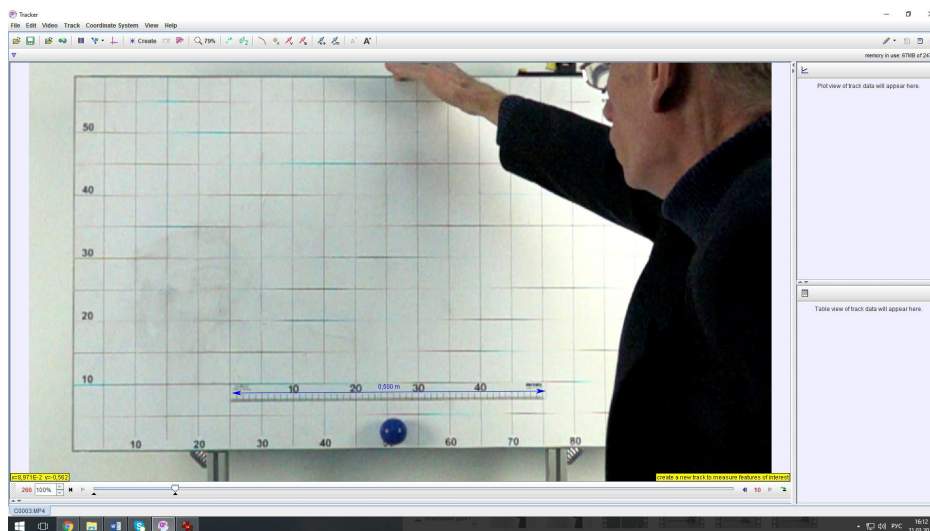
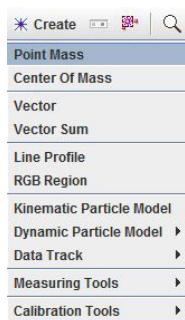


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

14. Для відстежування руху тіла оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



15. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.

16. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Повторіть ці кроки до останнього обраного кадру (рис. 4).

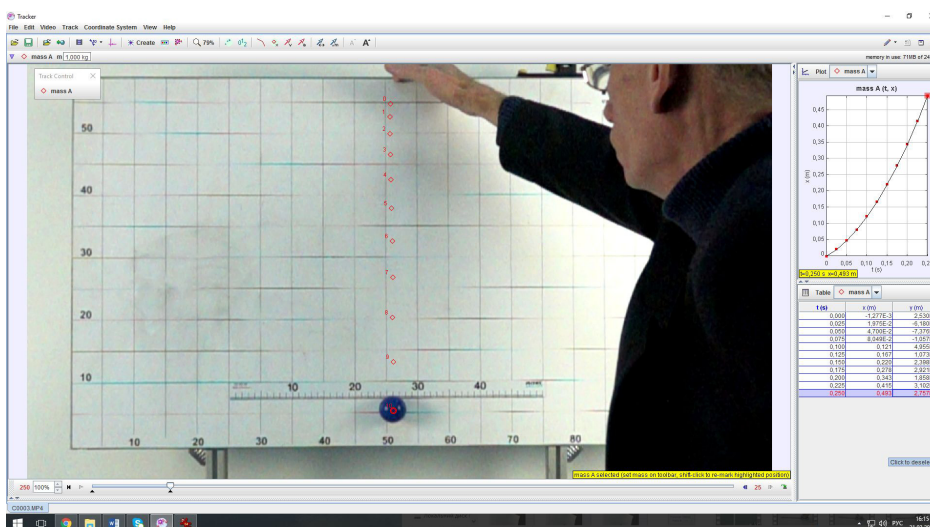


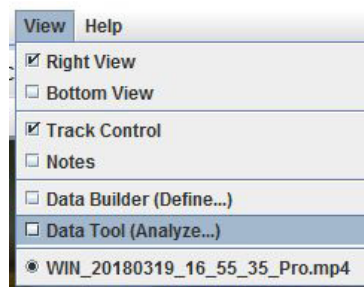
Рис. 5. Вигляд вікна програми Tracker після відстежування руху тіла

17. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Якщо вісь координат OX обрана вздовж руху тіла і спрямована в напрямку його руху, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 5.



### Частина 3. Аналіз даних

18. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



19. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею.

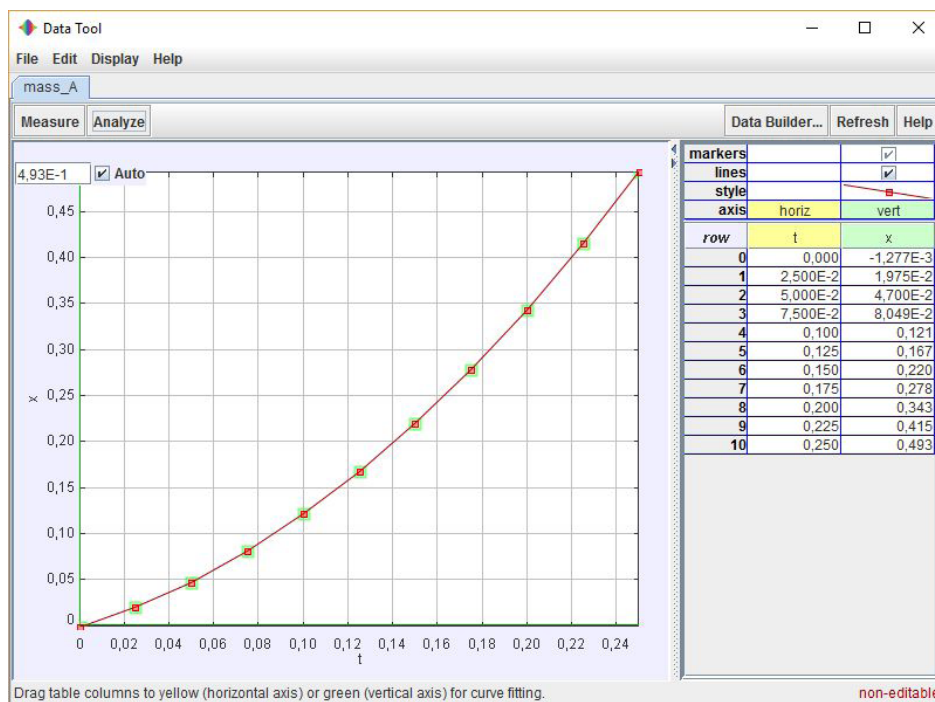


Рис. 6. Вигляд вікна Data Tool

20. Оскільки графік  $x(t)$  є частиною параболи, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $x(t) = at^2/2 + v_0t + x_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a/2$ . Звідси прискорення  $a = 2A$ . Для визначення прискорення падіння тіла необхідно знайти коефіцієнт  $A$  та помножити його на 2. Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік параболу.
21. Оберіть вкладинку Analyse → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася парабола та під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболи (рис. 6).

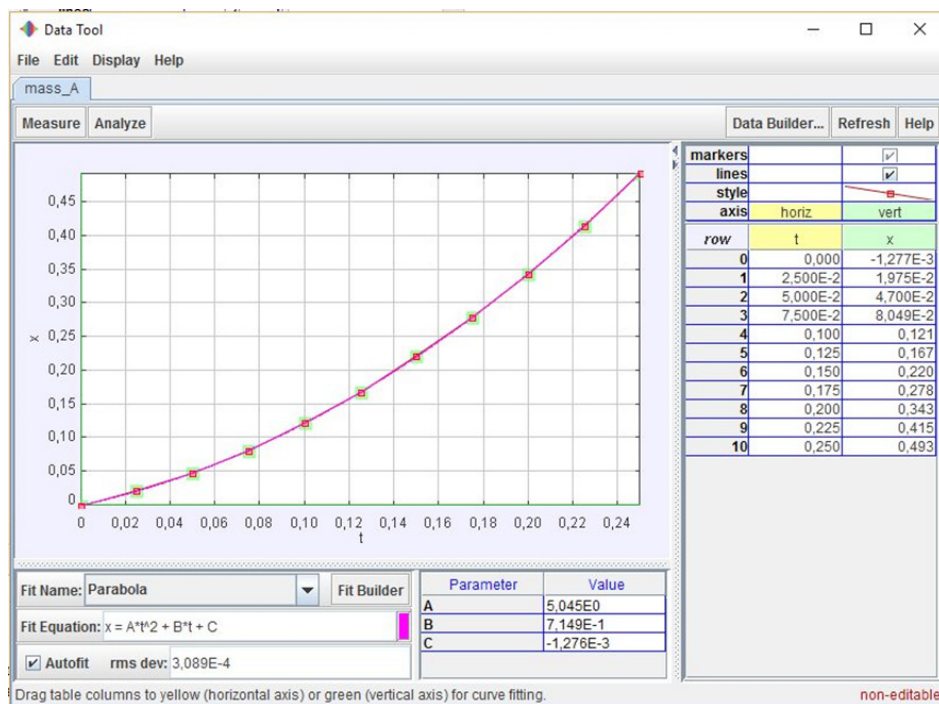


Рис. 7. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболу

22. Розрахуйте прискорення падіння тіла за коефіцієнтом А. Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді. Запишіть значення до таблиці.
23. Повторіть кроки частин 2 і 3 для двох інших тіл. Розрахуйте прискорення падіння. Запишіть значення до таблиці. Порівняйте отримані значення зі значенням прискорення вільного падіння та зробіть висновок стосовно їх відмінностей. З'ясуйте, на яке з трьох тіл середовище чинило максимальний опір (рис. 7).

Таблиця результатів

Назва тіла	Прискорення падіння, $a$ (м/с <sup>2</sup> )	Прискорення вільного падіння, $g$ (м/с <sup>2</sup> )

## Лабораторна робота № 3. Дослідження руху тіла, кинутого вертикально вгору

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, дослідити рух тіла, кинутого вертикально вгору.

### Завдання роботи:

1. Провести експеримент із тілом, кинутим вертикально вгору, і створити його відеозапис.
2. Визначити за допомогою інструментів програми початкову швидкість руху тіла.
3. Визначити за допомогою інструментів програми максимальну висоту підйому тіла та розрахувати за нею початкову швидкість руху. Порівняти значення швидкостей.
4. Створити модель руху тіла і порівняти її з експериментальними даними.

**Обладнання:** гумовий м'яч-стрибунець, лінійка, штатив, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

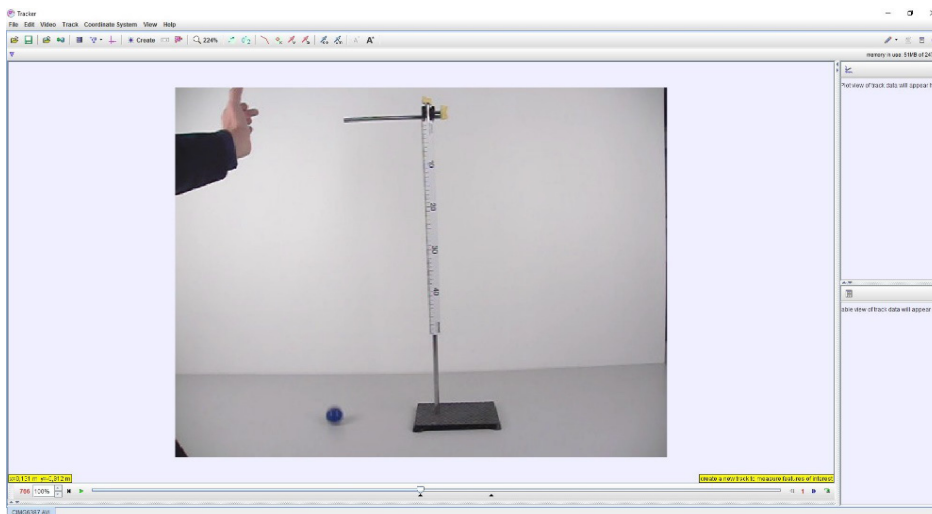


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення початкової швидкості руху гумової кульки після відскоку від поверхні столу і для створення динамічної моделі, що відповідає цій ситуації. Рух кульки відбувається у повітрі, тому побудова моделі тільки з урахуванням поля сил тяжіння хоч і незначно, але відрізнятиметься від результату реального експерименту. Одним із завдань роботи є створення динамічної моделі і добір параметрів, що можуть впливати на рух (рис. 1).

Рух тіла, кинутого вертикально вгору, відбувається в полі сил тяжіння. В ідеалізованій моделі, що не враховує впливу середовища, максимальна висота підняття кульки залежить винятково від її початкової швидкості і обчислюється за виразом:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}, \quad (1)$$

звідки

$$v_0 = \sqrt{2gh_{\max}}. \quad (2)$$

Тобто для визначення початкової швидкості достатньо встановити максимальну висоту підняття тіла. Це можна зробити за відеозаписом, безпосереднім вимірюванням положення тіла. Однак значення початкової швидкості також наявне у рівнянні руху тіла в проекціях на вертикальну вісь:

$$y(t) = v_{0y}t - \frac{g_y t^2}{2} . \quad (3)$$

Інструменти програми дають змогу, відслідкувавши рух тіла на певній ділянці, отримати графік його руху. За конкретним записом функції, що відповідає графіку руху, також нескладно отримати значення початкової швидкості як одного з коефіцієнтів, що входять у запис.

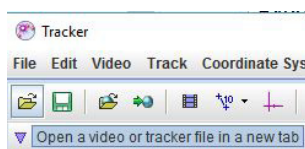
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть штатив і лінійку з добре помітними поділками строго вертикально.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте максимально можливу частоту зйомки відео (240–1000 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб лінійка і кулька повністю потрапляли в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розпочніть запис відео. Піднесіть кульку до початку лінійки та вільно відпустіть. Захопіть момент її першого та другого удару об поверхню столу. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Опрацювання відео

5. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

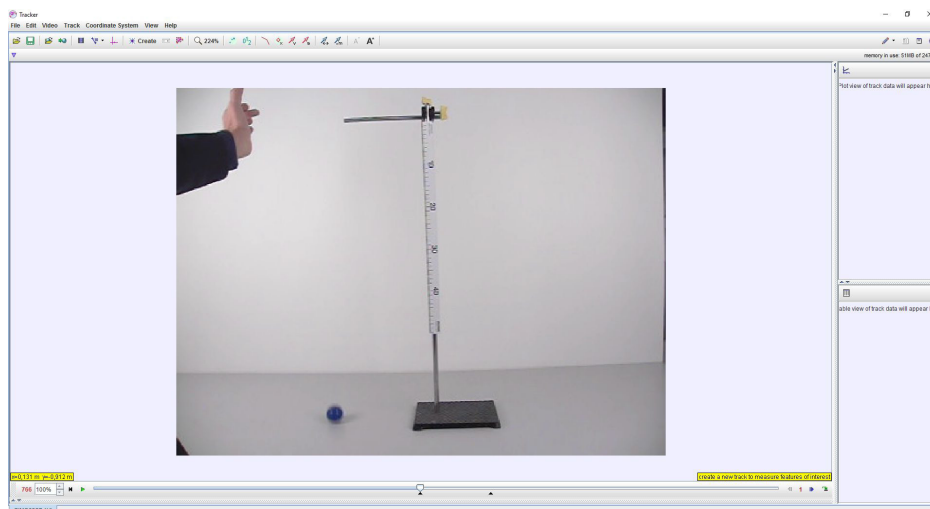
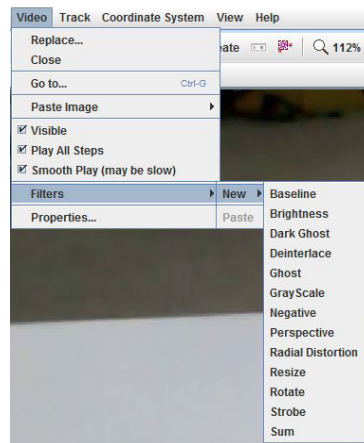



Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

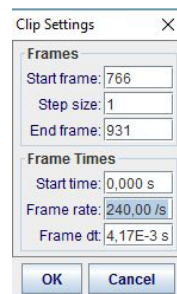
6. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис (рис. 2).
7. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





8. Установіть номер кадру, з якого розпочався вертикальний рух кульки вгору, та номер кадру, коли кулька вдарилася повторно. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). У цьому експерименті бажано обрати велику кількість точок, що дає змогу зробити функція автотрекінгу, роботу з якою буде застосовано пізніше. Оберіть Ok.



10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з центром тіла на початку руху. Осі координат можуть повертатися. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 3).

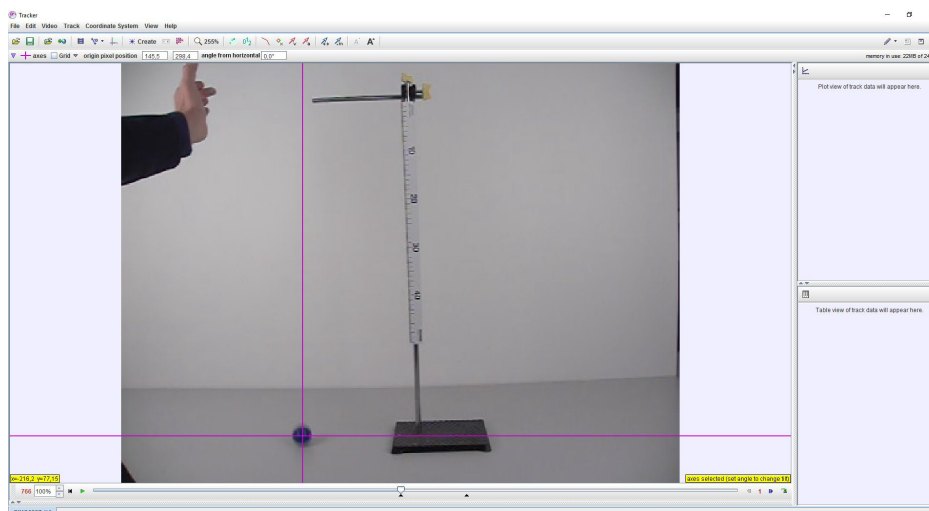




Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

11. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. Над відрізком необхідно в цифровому полі ввести значення довжини цього відрізка в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину (рис. 4).

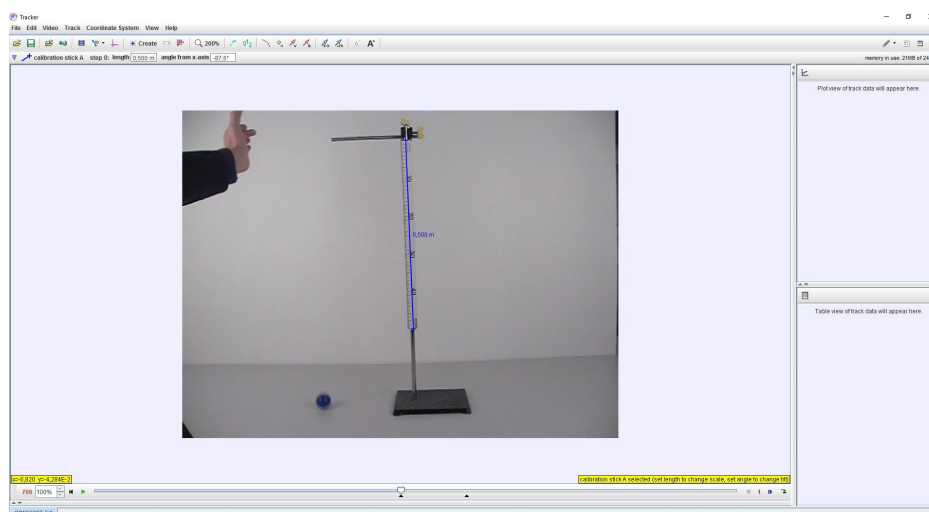
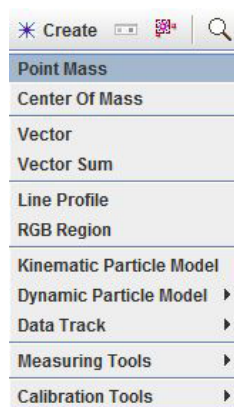


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

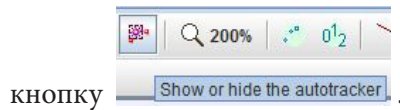
12. Для відстежування руху тіла оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



13. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.

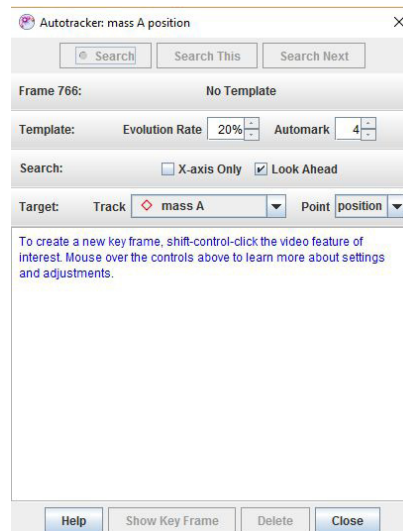
14. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.

15. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

16. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



17. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло і пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, у якому програма автоматично шукатиме його присутність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому та наступному кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.

18. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна – це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла стосовно заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.

19. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Поблизу вертикальної осі графіка оберіть у. Якщо вісь координат Оу обрана вертикально, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 5.







22. Оскільки графік  $y(t)$  є частиною параболи, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $y(t) = a_y t^2/2 + v_{oy} t + y_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $B = v_{oy}$ . Для визначення початкової швидкості руху кульки у вертикальному напрямку необхідно знайти коефіцієнт  $B$ . Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік параболу (рис. 6).
23. Оберіть вкладинку Analyze → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася параболу та під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболи. Визначте початкову швидкість кульки та запишіть її до таблиці.



Рис. 7. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболи

24. У верхній вкладинці оберіть Analyze → Statistics. У таблиці праворуч знайдіть значення найбільшої висоти підняття  $h_{\max}$ , що відповідає максимальному значенню координати  $y$ . Запишіть його до таблиці.
25. За формулою (2) розрахуйте значення початкової швидкості руху кульки і запишіть його до таблиці. Порівняйте це значення з попереднім і зробіть висновок (рис. 7).

#### Частина 4. Побудова моделі

26. Закрийте вікно Data Tool. Поверніться до головного вікна програми. У верхній стрічці меню вимкніть позначку матеріальної точки та їх нумерацію . Увімкніть лінію траєкторії .
27. Створимо динамічну модель руху кульки. Для цього оберіть у верхній стрічці меню Trake → New → Dynamic Particle Model → Cartesian. Остання стрічка визначає тип системи координат.
28. З'явиться вікно побудови моделі та в лівому кутку додатково в панелі Track Control – напис model A і піктограма моделі.

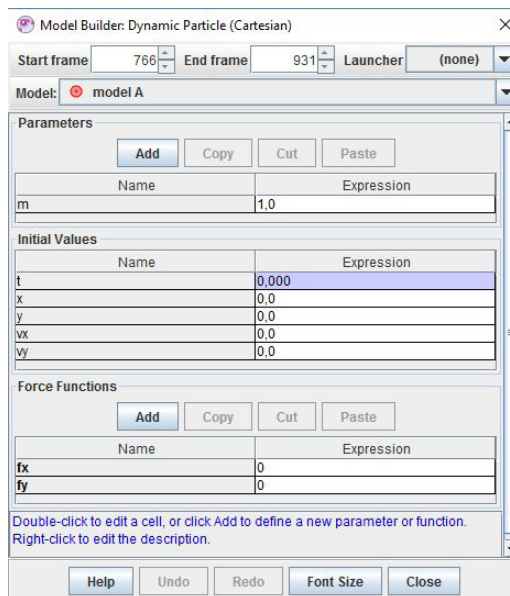


Рис. 8. Вигляд вікна Model Builder

Для побудови моделі руху необхідно визначитися з усіма параметрами, які будуть використані у процесі побудови. Крок перший – установіть номер кінцевого кадру. Установіть зв'язок моделі з проаналізованим відео – у полі Launcher оберіть mass A. У стрічці Parameters уведіть значення маси кульки. Оберіть Add. Під стрічкою маси з'явиться стрічка parameter. Натиснувши праву кнопку маніпулятора на назві, оберіть для цього параметра позначку g. У правій частині таблиці двічі натисніть на значення та введіть 9,81. Отже, визначена маса кульки і усереднене значення прискорення вільного падіння. Перейдіть до заповнення поля Initial Values. Початкові координати моделі вже визначені прив'язкою до тіла. У стрічці vy введіть значення початкової швидкості кульки вздовж вертикалі, визначене у попередніх вимірах. Перейдіть у поле Force Function. Fx – це проекції сил, що діють вздовж горизонту. Fy – проекції сил, що діють вертикально. Оскільки розглядається тільки сила тяжіння, заповніть поле значення fy, ввівши  $-m \cdot \text{parameter}$ . Можливі літери будуть видимі при заповненні. Просто оберіть із переліку (рис. 8).

29. На зображенні з'явився трек моделі. Для оптимального відстежування увімкніть позначки тіл та моделі, обравши кнопку у верхньому меню. Перемістившись на перший кадр, відтворіть відеозапис. Якщо трек моделі не збігатиметься з дослідним треком – не враховані додаткові параметри, які впливають на рух кульки. Спробуйте змінювати параметри та їхні значення, намагаючись досягти оптимального суміщення моделі і дослідного треку (рис. 9).

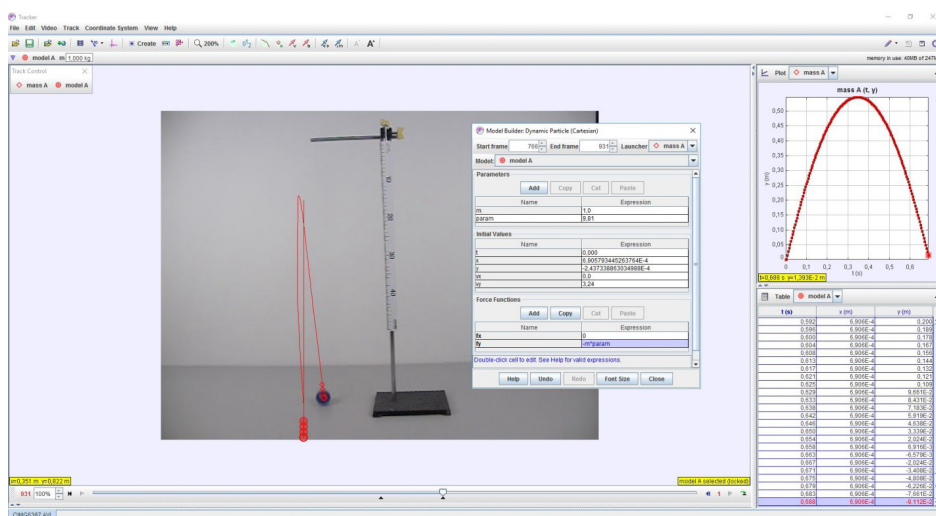


Рис. 9. Вигляд вікна при створенні моделі

**Таблиця результатів**

Початкова швидкість тіла, визначена за кривою, $v_{0y}$ (м/с)	Максимальна висота підйому тіла, $h_{\max}$ (м)	Початкова швидкість тіла, визначена за максимальною висотою підйому, $v_{0y}$ (м/с)

## Лабораторна робота № 4.

### Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, дослідити рух тіла, кинутого під кутом до горизонту.

#### Завдання роботи:

1. Провести експеримент із тілом, кинутим під кутом до горизонту, і створити його відеозапис.
2. Визначити за допомогою інструментів програми початкову швидкість руху тіла, кут кидання, дальність польоту тіла та максимальну висоту його підняття.
3. Дослідити характер траєкторії руху тіла.
4. Розрахувати дальність польоту тіла і максимальну висоту за початковою швидкістю і кутом кидання. Порівняти значення дальності й максимальної висоти з розрахунковими даними.
5. Створити модель руху тіла і порівняти її з експериментальними даними.

**Обладнання:** дитяча іграшка – пружинний пістолет із кулькою, лінійка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>) (рис. 1).

#### Загальні відомості

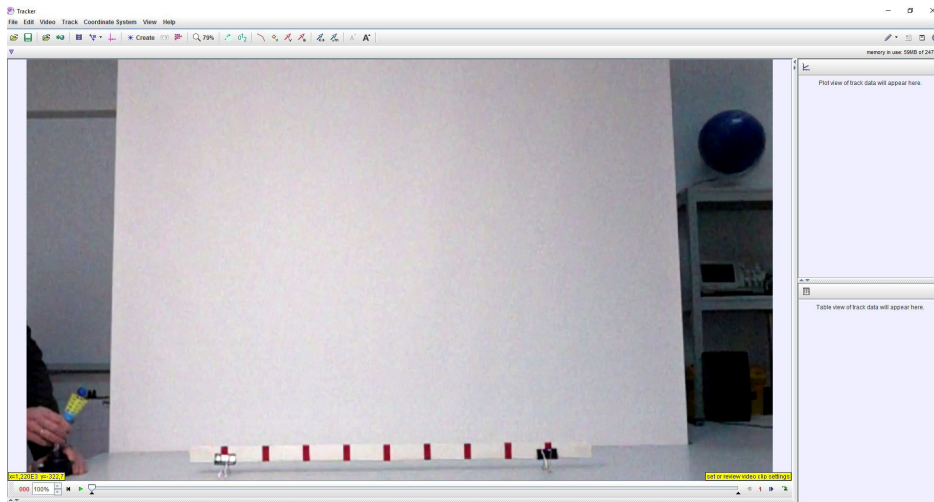


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення початкової швидкості руху, кута кидання, дальності польоту та максимальної висоти підняття пластикової кульки після вильоту зі стартового пристрою, а також для створення динамічної моделі, що відповідає цій ситуації. Кулька, що використовується в досліді, має маленьку масу. Рух кульки відбувається у повітрі, тому вплив середовища буде значним і траєкторія польоту буде балістичною. Побудова моделі тільки з урахуванням поля сил тяжіння відрізнятиметься від результату реального експерименту. Одним із завдань роботи є створення динамічної моделі і добір параметрів, що можуть впливати на рух.

Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, відбувається в полі сил тяжіння. В ідеалізованій моделі, що не враховує впливу середовища, дальність польоту тіла і його максимальна висота підняття залежать від його початкової швидкості, кута кидання й обчислюються за виразами:

$$s_{max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}; \quad (1)$$

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}. \quad (2)$$

У реальних умовах на тіло впливає опір середовища, внаслідок чого траєкторія відрізнятиметься від параболи. Інструментами програмного забезпечення можна визначити початкову швидкість кидання, кут кидання, дальність польоту та максимальну висоту підняття тіла. Водночас за першими двома параметрами, використовуючи ідеалізовану модель, можна розрахувати дальність та максимальну висоту підняття і порівняти їх з експериментальними даними. Накладанням параболи на траєкторію руху тіла можна визначити, наскільки вона відрізняється від ідеалізованої моделі. Використовуючи моделювальні функції програми, можна створити модель з урахуванням сторонніх факторів впливу, таких як опір середовища. Загалом сила опору середовища направлена в бік, протилежний руху тіла, і пропорційна швидкості руху тіла на малих швидкостях і квадрату швидкості руху на великих швидкостях. Сила опору обраховується за формулами:

$$F_{оп} = -k_1 v, \quad (3)$$

$$F_{оп} = -k_2 v^2, \quad (4)$$

де  $k_1$  і  $k_2$  – коефіцієнти опору середовища.

Ці вирази можуть використовуватися при створенні динамічної моделі руху тіла з метою створення більш повної картини дії усіх сил.

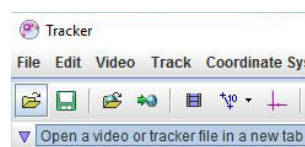
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть лінійку з добре помітними поділками горизонтально.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте максимально можливу частоту зйомки відео (240–1000 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб лінійка та кулька повністю потрапляли в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розпочніть запис відео. Здійсніть постріл з іграшки і зафіксуйте падіння кульки на стіл. Враховуючи, що траєкторія руху може відхилятися від площини зйомки, зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Опрацювання відео

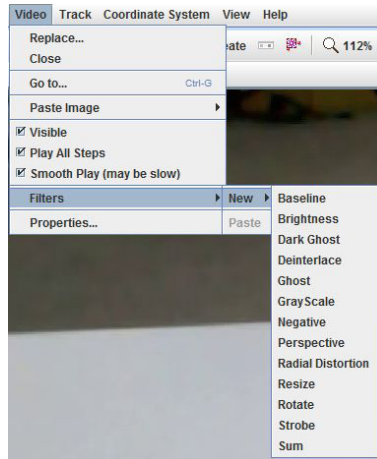
5. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



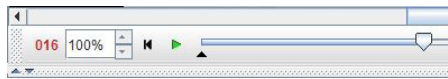
Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.


6. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.

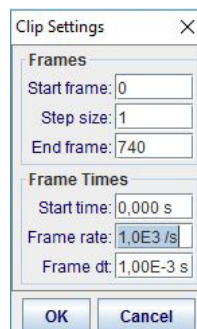
7. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





8. Установіть номер кадру, з якого розпочався рух кульки, та номер кадру, коли кулька вдарилася об стіл. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). У цьому експерименті бажано обрати велику кількість точок для аналізу, що дає змогу зробити функція автотрекінгу, роботу з якою буде застосовано пізніше. Оберіть Ok.



10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з центром тіла на початку руху. Осі координат можуть повертатися. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує. У цій роботі горизонтальну вісь координат слід направити паралельно поверхні столу.

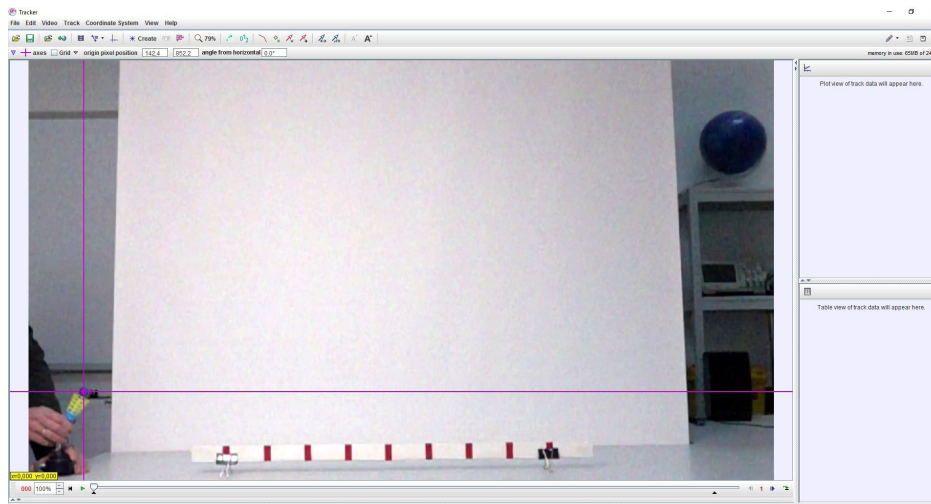




Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

11. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. Над відрізком необхідно в цифровому полі ввести значення довжини цього відрізка в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення і довжину (рис. 2).

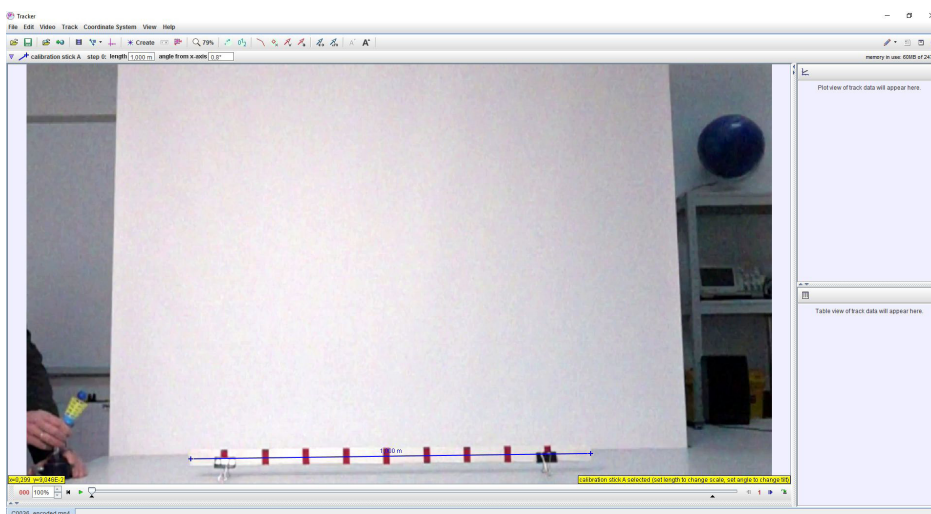
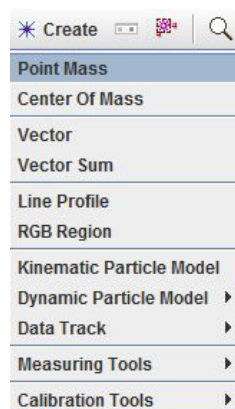
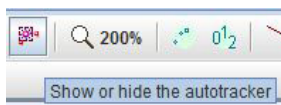


Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

12. Для відстежування руху кульки оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.

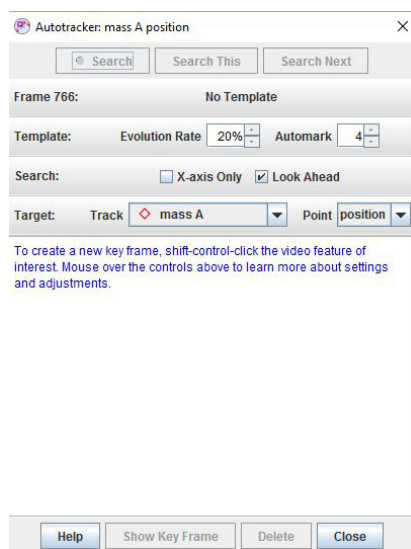


13. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control (рис. 3).
14. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.
15. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

16. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



17. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло і пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказувати окіл на зображенні, у якому програма автоматично шукатиме його присутність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому і наступному кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.
18. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна – це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але основною є контрастність зображення тіла стосовно заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
19. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Якщо вісь координат O<sub>x</sub> обрана горизонтально, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 4.



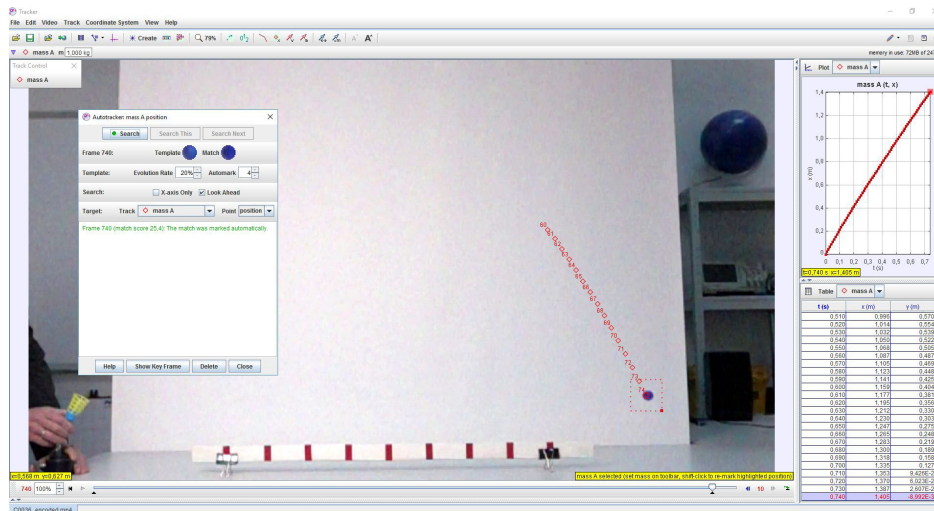
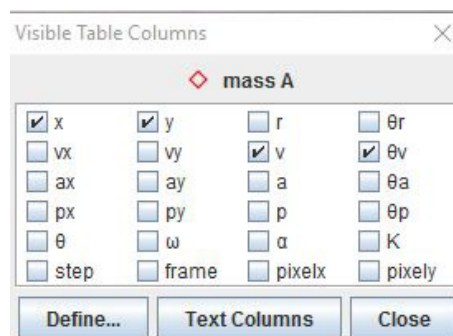


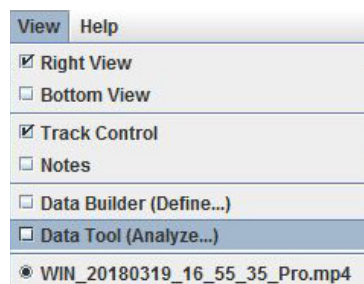
Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після роботи автотрекінгу

### Частина 3. Аналіз даних

20. У головному вікні програми знайдіть у полі таблиць позначку Table і натисніть її. З'явиться невелике вікно з переліком колонок, що відобразатимуться в цьому полі. Поставте позначку біля кута вектора швидкості  $\theta v$  і модуля швидкості  $v$ . Закрийте вікно.



21. У найвищих стрічках знайдіть значення кута і модуля швидкості на початку руху кульки та запишіть до таблиці їхнє усереднене значення. Усереднення слід зробити для 2–3 стрічок.
22. Увімкніть відображення системи координат, щоб визначити номер точки, на якій кулька перетнула горизонтальну вісь. На відео оберіть цю точку. У вікні таблиць висвітлиться стрічка, що відповідає цій точці. Зчитайте координату  $x$ , яка відповідає дальності польоту тіла  $s_{\max}$  та запишіть її до таблиці. У вікні графіка біля вертикальної осі оберіть  $y$ .
23. Оберіть у верхньому меню View  $\rightarrow$  Data Tool (Analyze...).



24. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 5).

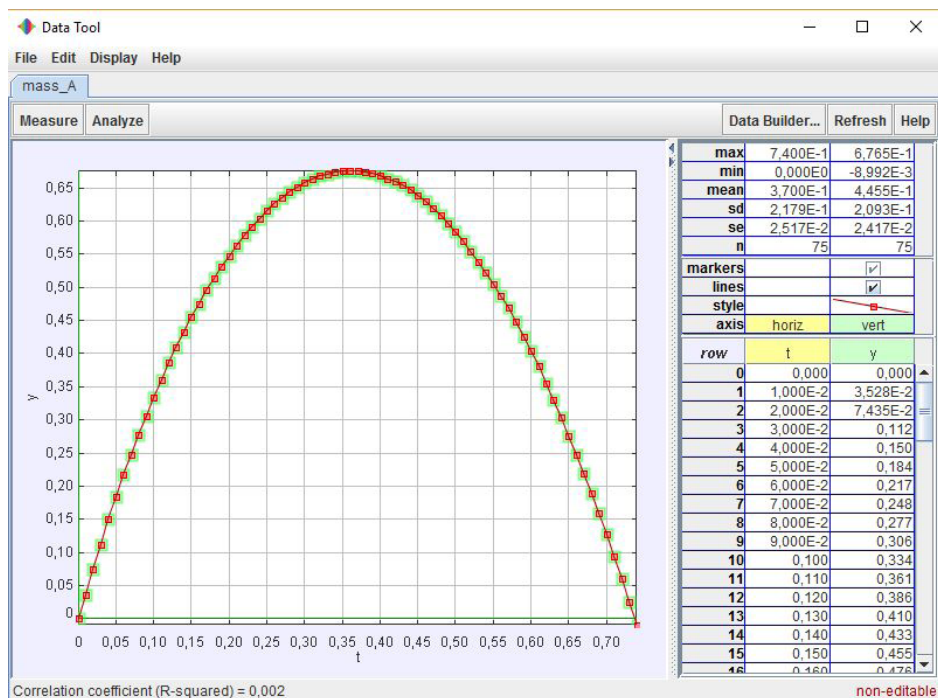


Рис. 5. Вигляд вікна Data Tool після обробки статистики

25. У верхній вкладці оберіть Analyze → Statistics. У таблиці праворуч знайдіть значення найбільшої висоти підняття  $h_{\max}$ , що відповідає максимальному значенню координати  $y$ . Запишіть його до таблиці.
26. Закрийте вікно Data Tool. У полі графіка основного вікна оберіть біля горизонтальної осі позначку  $x$ . Знову відкрийте вікно Data Tool.
27. Оберіть вкладку Analyze → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася парабола. У полі графіка курсором виділіть першу половину графіка. Накладена парабола не буде збігатися з усією траєкторією, що свідчить про відмінність траєкторії від ідеальної параболічної. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболи (рис. 6).

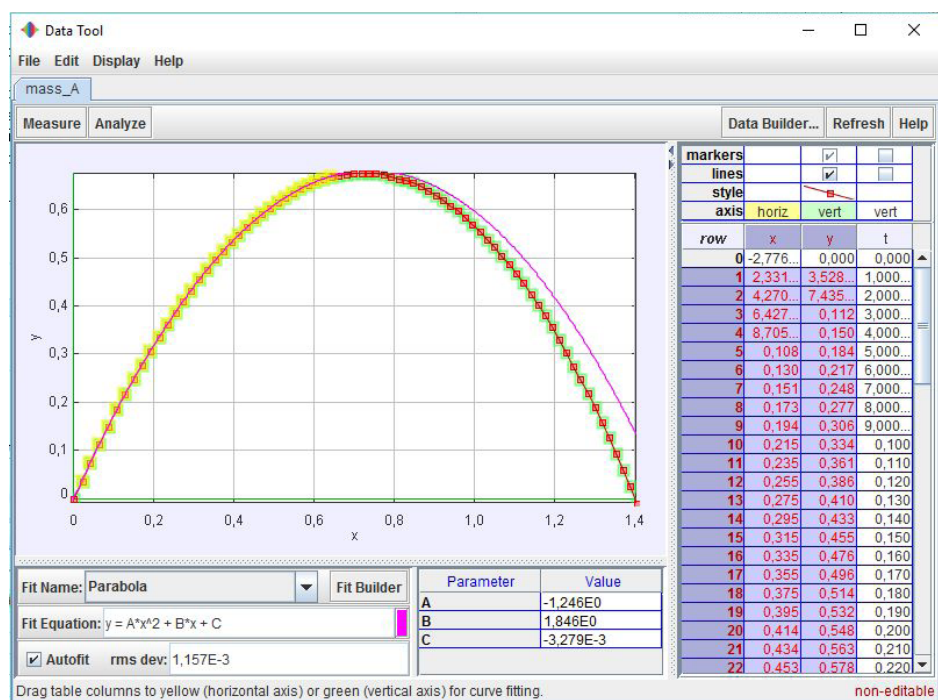




Рис. 6. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболи

28. Використовуючи вимірні значення кута кидання і початкової швидкості за формулами (1) та (2), розрахуйте дальність польоту кульки, а також її максимальну висоту підняття. Запишіть розраховані значення до таблиці і порівняйте їх із вимірними значеннями. Зробіть висновок.

#### Частина 4. Побудова моделі

29. Закрийте вікно Data Tool. Поверніться до головного вікна програми. У верхній стрічці меню вимкніть позначку матеріальної точки та їх нумерацію . Увімкніть лінію траєкторії .
30. Створимо динамічну модель руху м'яча. Для цього оберіть у верхній стрічці меню Trake → New → Dynamic Particle Model → Cartesian. Остання стрічка визначає тип системи координат.
31. З'явиться вікно побудови моделі та в лівому кутку додатково в панелі Track Control – надпис model A і піктограма моделі (рис. 7).

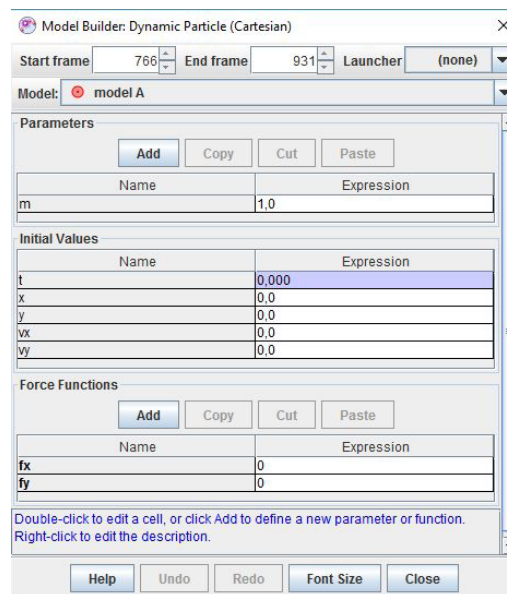


Рис. 7. Вигляд вікна Model Builder

32. Для побудови моделі руху необхідно визначитися з усіма параметрами, які будуть використані у процесі побудови. Крок перший – установіть номер кінцевого кадру. Встановіть зв'язок моделі з проаналізованим відео – у полі Launcher оберіть mass A.
33. У стрічці Parameters уведіть значення маси кульки. Оберіть Add. Під стрічкою маси з'явиться стрічка parameter. Натиснувши праву кнопку маніпулятора на назві, оберіть для цього параметра позначку g. У правій частині таблиці двічі натисніть на значення і введіть 9,81. Отже, визначена маса кульки і усереднене значення прискорення вільного падіння. Додайте стрічку для першого параметра, яка буде надалі використовуватися для добору значень коефіцієнтів  $k_1$  і  $k_2$ . Перейдіть до заповнення поля Initial Values. Початкові координати моделі вже визначені прив'язкою до тіла. Перейдіть до поля таблиць; у головному вікні оберіть таблиці mass A та за допомогою кнопки Table відкрийте перелік колонок і додайте колонки vx та vy. У полі побудови моделі у стрічках vx та vy введіть значення початкової швидкості кульки вздовж горизонталі і вертикалі, визначені за таблицею в головному вікні. Перейдіть у поле Force Function. Fx – це проекції сил, що діють вздовж горизонту. Fy – проекції сил, що діють вертикально. На початку побудови заповніть поле значення fy, ввівши – m\*parameter. Це врахування тільки дії сили тяжіння. Можливі літери будуть видимі при заповненні. Просто виберіть із переліку.
34. На зображенні з'явився трек моделі. Для оптимального відстежування увімкніть позначки тіла і моделі, обравши кнопку у верхньому меню. Перемістившись на перший кадр, відтворіть відеозапис. Трек моделі не збігатиметься з дослідним треком – не враховано існування сили опору повітря.
35. Враховуючи, що сила опору повітря направлена проти руху тіла, додайте у стрічку fx запис  $\text{parametr1} * vx$ , а до запису стрічки vy –  $\text{parametr1} * vy$ . Спробуйте змінювати значення першого параме-

тра, намагаючись досягти оптимального суміщення моделі і дослідного треку. Якщо швидкість руху кульки буде значною, потрібно ввести корективу формули сили опору, врахувавши, що швидкість братиметься у квадраті (рис. 8).

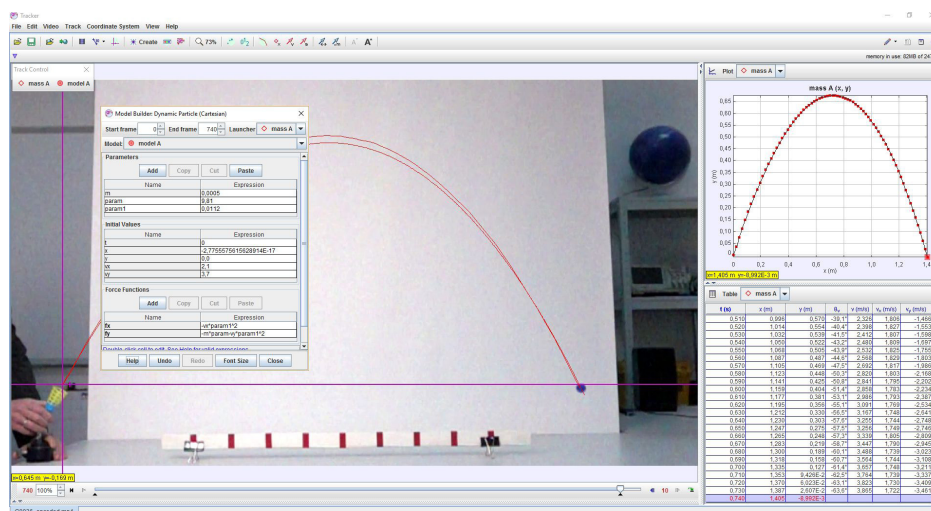


Рис. 8. Вигляд вікна при створенні моделі

### Таблиця результатів

Початкова швидкість тіла, визначена за таблицею, $v_0$ (м/с)	Кут кидання тіла, визначений за таблицею, $\alpha$	Максимальна дальність польоту тіла, визначена за таблицею, $s_{\max}$ (м)	Максимальна висота підйому тіла, визначена за таблицею, $h_{\max}$ (м)	Максимальна дальність польоту тіла, визначена за розрахунком, $s_{\max}$ (м)	Максимальна висота підйому тіла, визначена за розрахунком, $h_{\max}$ (м)

## Лабораторна робота № 5.

### Дослідження руху тіла, кинутого горизонтально

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, дослідити рух тіла, кинутого горизонтально.

#### **Завдання роботи:**

1. Провести експеримент із тілом, кинутим горизонтально, а також створити його відеозапис.
2. Визначити за допомогою інструментів програми початкову швидкість руху тіла в горизонтальному напрямку.
3. Розрахувати прискорення руху тіла у вертикальному напрямку, використовуючи інструменти програми Tracker.
4. Створити модель руху тіла і порівняти її з експериментальними даними.

**Обладнання:** тенісний м'яч, пристосування для запуску тіла, вертикальна поверхня, лінійка, ПК.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

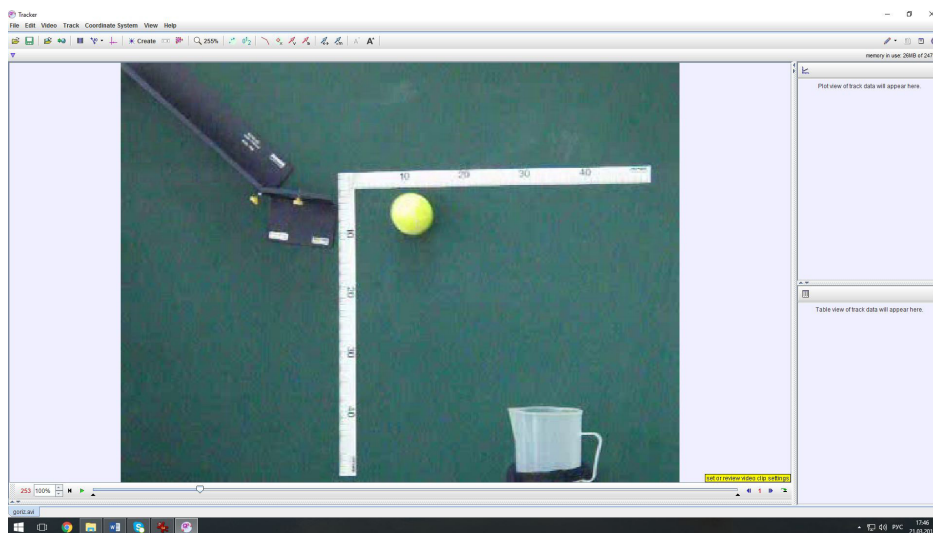


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення початкової швидкості руху тенісного м'яча в горизонтальному напрямку, прискорення його руху у вертикальній площині, а також для створення динамічної моделі, що відповідає зазначеній ситуації. Рух м'яча відбувається у повітрі, тому побудова моделі тільки з урахуванням поля сил тяжіння незначно, але відрізнятиметься від результату реального експерименту. Одним із завдань роботи є створення динамічної моделі та добір параметрів, що можуть впливати на рух (рис. 1).

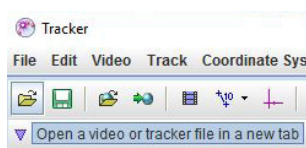
## Хід роботи

### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть розграфлену поверхню або лінійку з добре помітними поділками строго вертикально. Помістіть у цій площині додаткові пристосування для запуску м'яча.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте максимально можливу частоту зйомки відео (240–1000 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб лінійка або розграфлена поверхня і м'яч повністю потрапляли в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розпочніть запис відео. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант.
5. Повторіть запис відео для вибору найкращого варіанта. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

### Частина 2. Опрацювання відео

6. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 2).

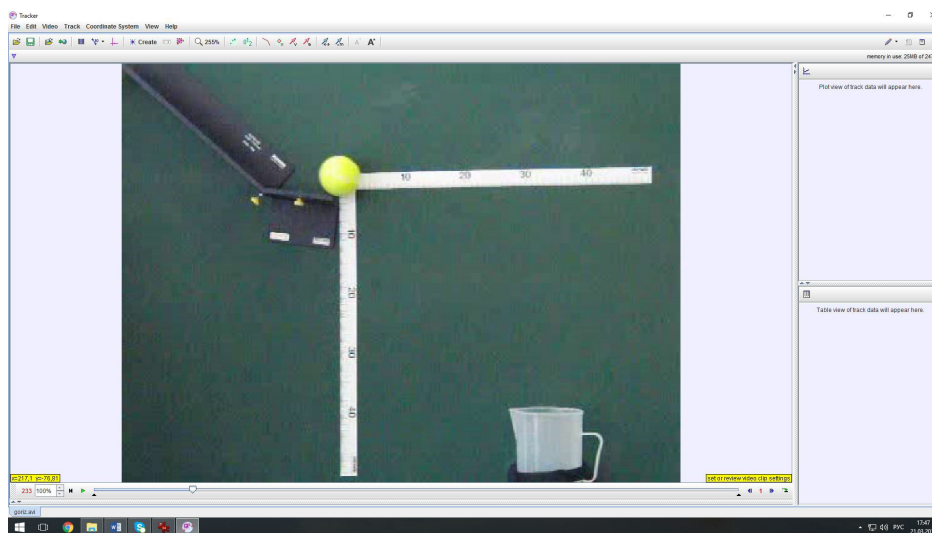
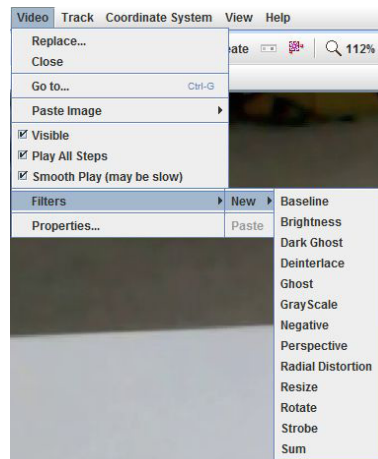
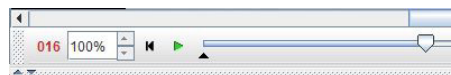



Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

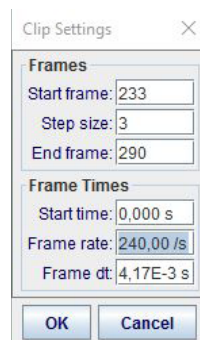
7. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис. Якщо об'єкт пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





8. Установіть номер кадру, з якого розпочався горизонтальний рух тіла, та номер кадру, коли тіло потрапило в уловлювач. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу), а також частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.



10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з центром тіла на початку руху. Осі координат можуть повертатися. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 3).

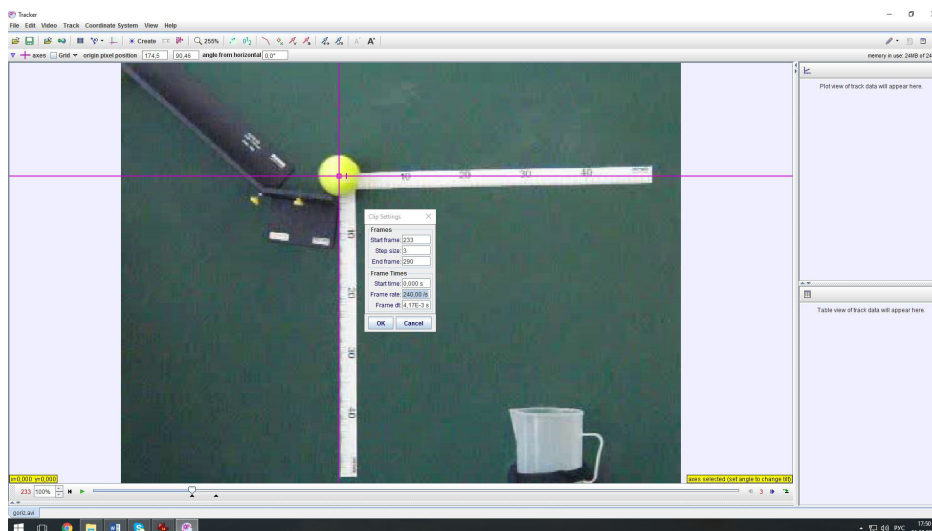




Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

11. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Tare. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться двонаправлений відрізок. Над відрізком необхідно в цифровому полі ввести значення довжини цього відрізка в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину (рис. 4).

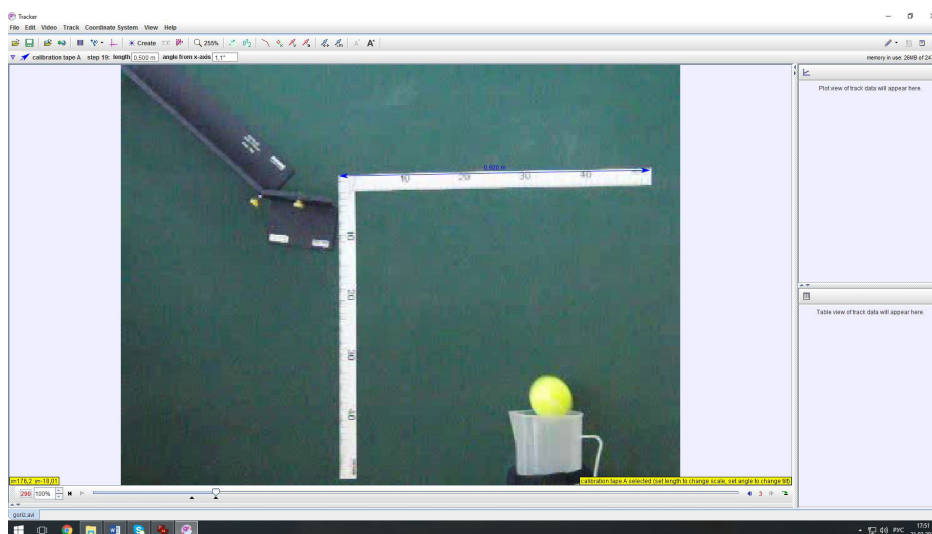
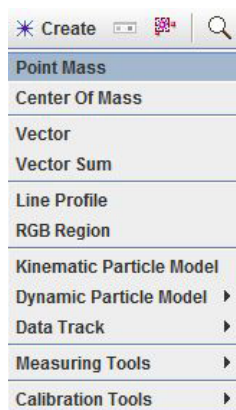


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

12. Для відстежування руху тіла оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.





13. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
14. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку манипулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Повторюйте ці кроки до останнього обраного кадру.

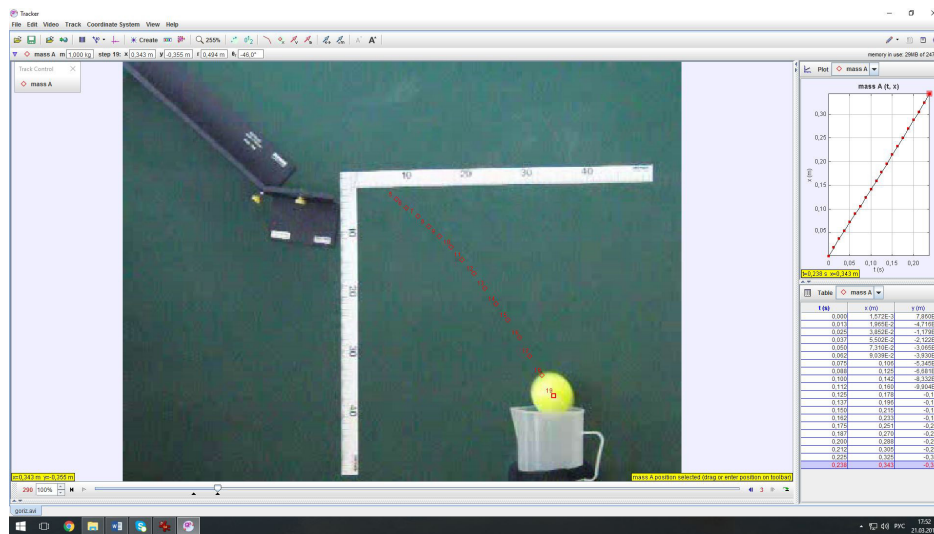
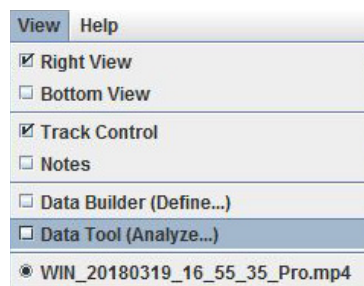


Рис. 5. Вигляд вікна програми Tracker після відстежування руху тіла

15. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Якщо вісь координат OX обрана горизонтально, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 5.

### Частина 3. Аналіз даних

16. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



17. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 6).

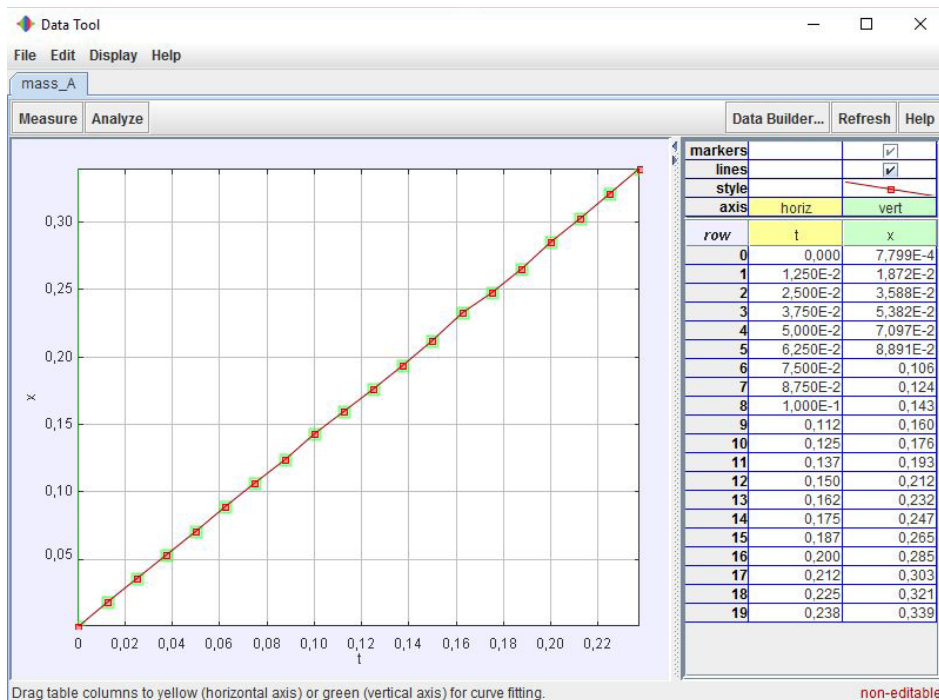


Рис. 6. Вигляд вікна Data Tool

18. Оскільки графік  $x(t)$  є прямою, то рух м'яча вздовж осі  $Ox$ , який він описує, буде рівномірним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд лінійної функції  $x(t) = v_x t + x_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax + B$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = v_x$ . Отже, початкова швидкість руху м'яча в горизонтальному напрямку дорівнює коефіцієнту  $A$ . Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік пряму (рис. 7).
19. Оберіть вкладинку Analyze → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Line. Поверх графіка руху з'явилася пряма, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення прямої. Визначте початкову швидкість м'яча.



Рис. 7. Вигляд вікна Data Tool після накладання прямої

20. Поверніться до головного вікна програми й у вікні графіка біля вертикальної осі оберіть позначку осі  $x$ . З'явиться вікно з варіантами параметрів. Оберіть параметр  $y$ .
21. Вигляд графіка зміниться. Перейдіть до вікна Data Tool. Вимкніть і увімкніть його знову. У полі графіка буде два графіка. Для вибору графіка руху тіла по осі  $Oy$  у полі таблиць залиште тільки позначки біля колонки  $y$ .
22. Оскільки графік  $y(t)$  є частиною параболи, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $x(t) = at^2/2 + v_0t + x_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a/2$ . Звідси прискорення  $a = 2A$ . Для визначення прискорення руху м'яча у вертикальному напрямку необхідно знайти коефіцієнт  $A$  і помножити його на 2. Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік параболу (рис. 8).
23. Оберіть вкладинку Analyse → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася параболою, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболи. Біля коефіцієнта стоїть знак «-», оскільки прискорення спрямовано протилежно напрямку осі  $Oy$ .

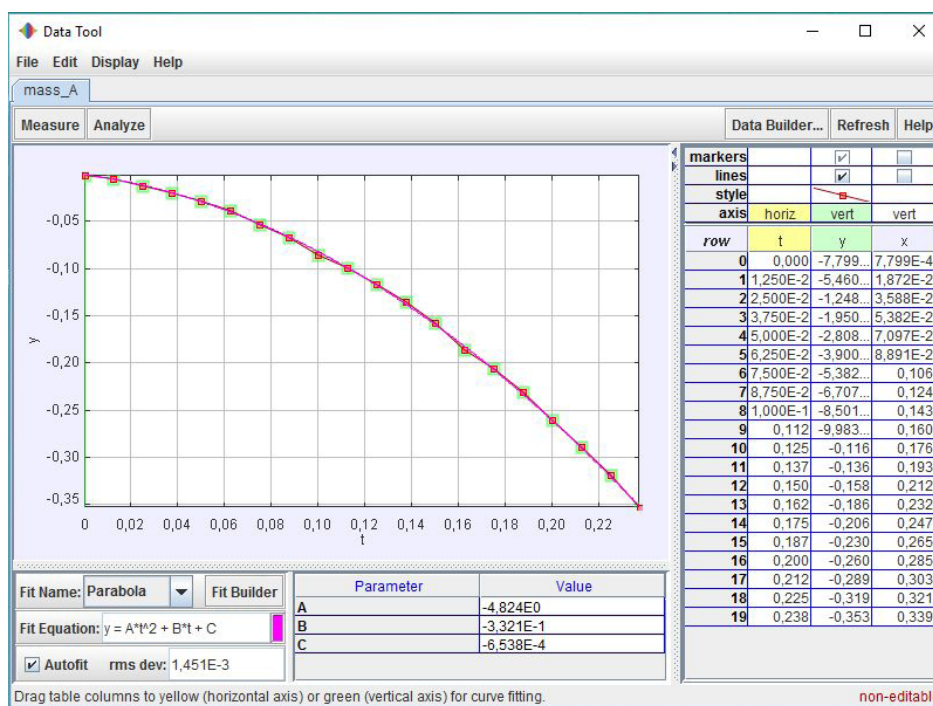


Рис. 8. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболи

24. Розрахуйте прискорення падіння тіла за коефіцієнтом  $A$ . Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді.
25. Створимо динамічну модель руху м'яча. Для цього оберіть у верхній стрічці меню Tracke → New → Dynamic Particle Model → Cartesian. Остання стрічка визначає тип системи координат.
26. З'явиться вікно побудови моделі та в лівому кутку додатково в панелі Track Control – надпис model  $A$  і піктограма моделі (рис. 9).

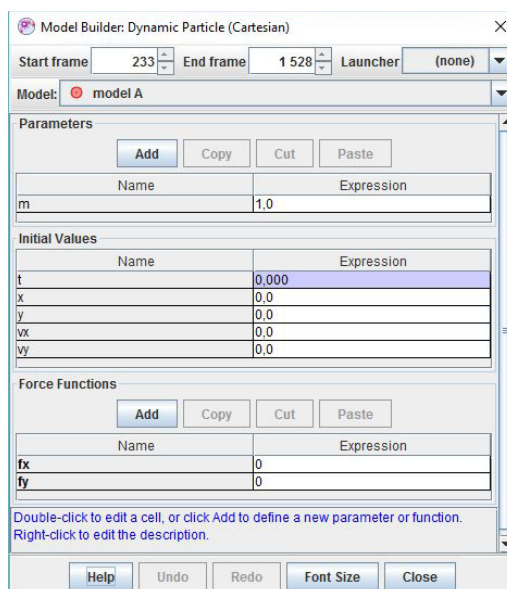


Рис. 9. Вигляд вікна Model Builder

27. Для побудови моделі руху необхідно визначитися з усіма параметрами, які будуть використані у процесі побудови. Крок перший – установіть номер кінцевого кадру. Установіть зв'язок моделі з проаналізованим відео – у полі Launcher оберіть mass A.

У стрічці Parameters уведіть значення маси м'яча – 0,05 кг. Оберіть Add. Під стрічкою «маса» з'явиться стрічка parameter. Натиснувши праву кнопку маніпулятора на назві, оберіть для цього параметра позначку g. У правій частині таблиці двічі натисніть на значення і введіть 9,81. Отже, визначено масу м'яча і усереднене значення прискорення вільного падіння. Перейдіть до заповнення поля Initial Values. Початкові координати моделі вже визначені прив'язкою до тіла. У стрічці vx введіть значення початкової швидкості м'яча вздовж горизонту, визначене попередньо. Перейдіть у поле Force Function. Fx – це проекції сил, що діють вздовж горизонту. Fy – проекції сил, що діють вертикально. Оскільки розглядається тільки сила тяжіння, заповніть поле значення fy, ввівши  $-m \cdot \text{parameter}$ . Можливі літери будуть видимі при заповненні. Просто оберіть із переліку.

28. На зображенні з'явився трек моделі. Якщо він не збігатиметься з дослідним треком – не враховані додаткові параметри, такі як швидкість по вертикалі або проекції сил.

29. Спробуйте змінювати параметри та їхні значення, намагаючись досягти оптимально суміщення моделі й дослідного треку (рис. 10).

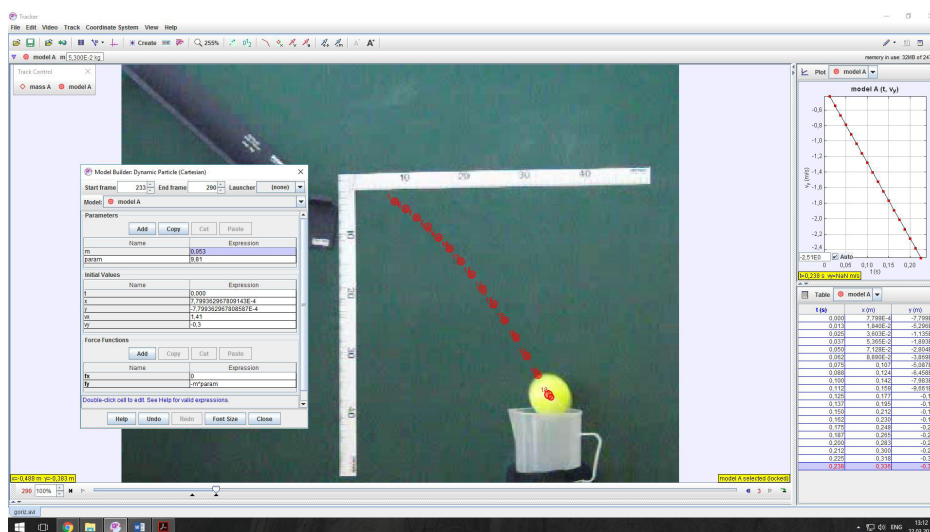


Рис. 10. Вигляд вікна з Model Builder

## Лабораторна робота № 6.

### Дослідження рівномірного руху тіла по колу

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, дослідити рівномірний рух тіла по колу.

#### **Завдання роботи:**

1. Провести експеримент із тілом, що рівномірно рухається по колу, а також створити його відео-запис.
2. Визначити за допомогою інструментів програми лінійну, кутову швидкості руху і доцентрове прискорення.

**Обладнання:** дитяча іграшкова залізниця, транспортір із визначеними розмірами, ПК.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>) (рис. 1).

#### Загальні відомості

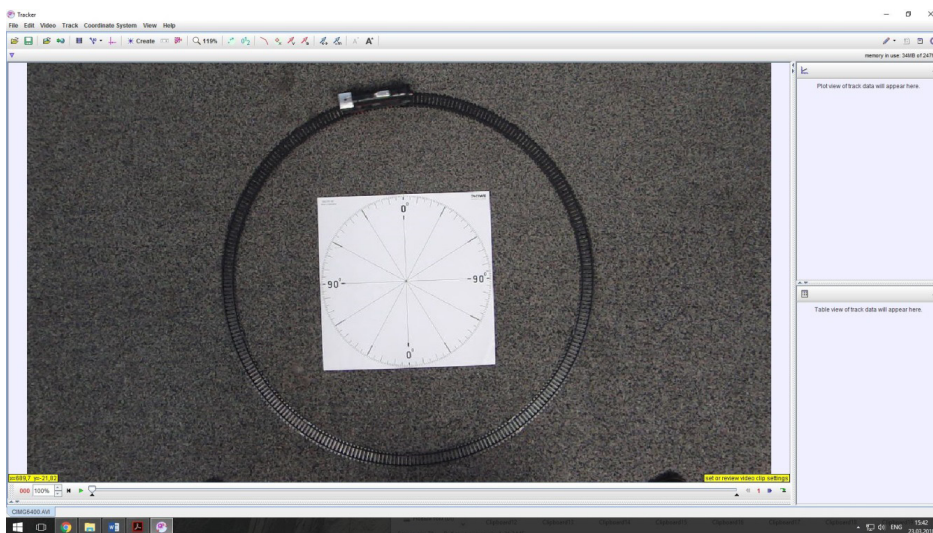


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення лінійної, кутової швидкості руху потяга іграшкової залізниці і його доцентрового прискорення. Рух потяга буде квазірівномірним, оскільки він приводиться у рух електродвигуном, що працює за сталої напруги живлення. Метою роботи є визначення основних параметрів руху тіла, що рівномірно рухається по коловій траєкторії.

#### Хід роботи

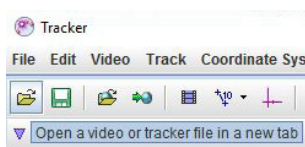
##### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть іграшкову залізницю на горизонтальній поверхні і помістіть у її центр транспортір.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (25–30 кадрів на секунду).

3. Установіть пристрій так, щоб залізниця потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Запустіть потяг і встановіть його на колії. Розпочніть запис відео. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

### Частина 2. Опрацювання відео

5. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтесь кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 2).

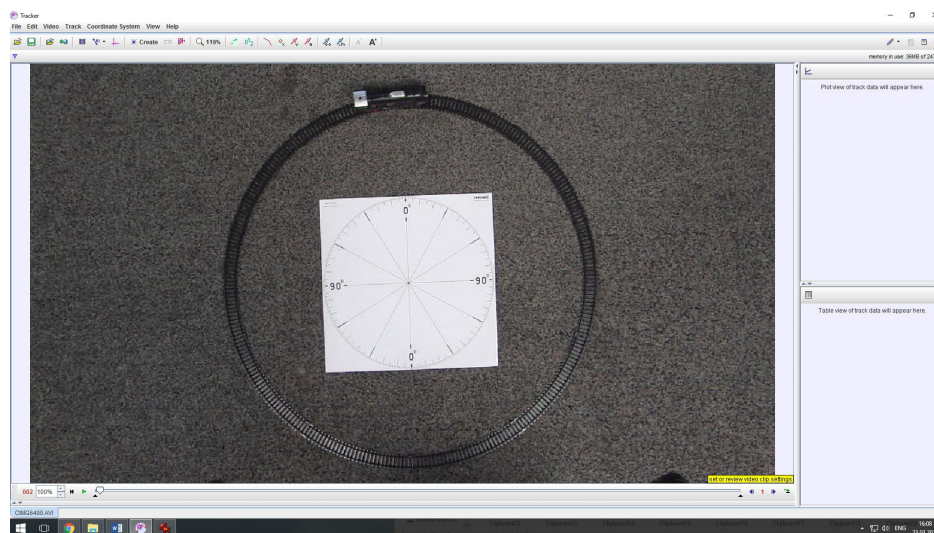
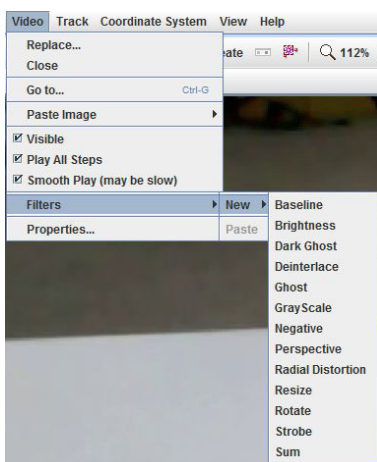
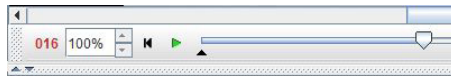



Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

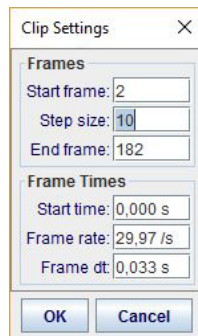
6. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





7. Оберіть номер кадру, з якого розпочався рух тіла, навпроти характерної поділки транспортера, та номер кадру, коли тіло повернулося до цієї поділки. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



8. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового і кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу), а також частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.



9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що відповідає центру траєкторії. Осі координат можуть повертатися. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує.

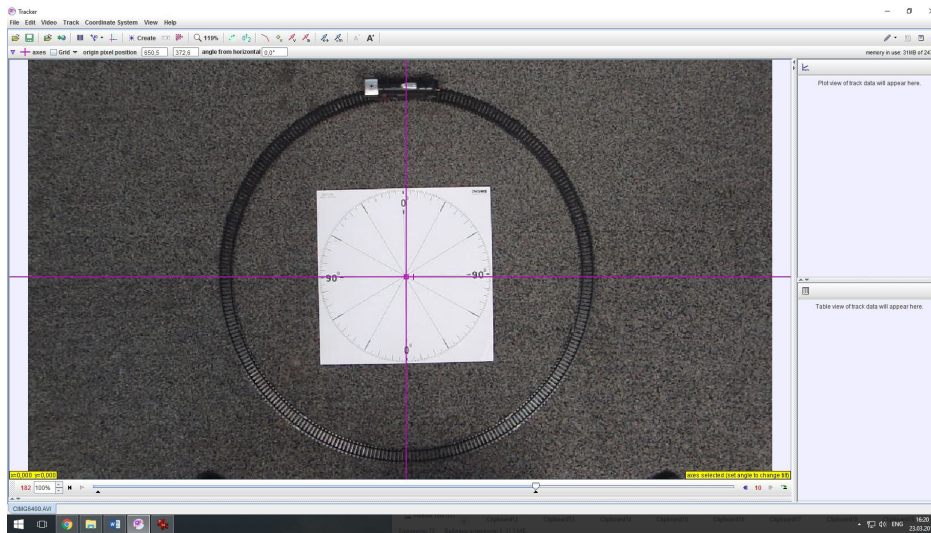




Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Tare. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться двонаправлений відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятовує його положення та довжину (рис. 3).

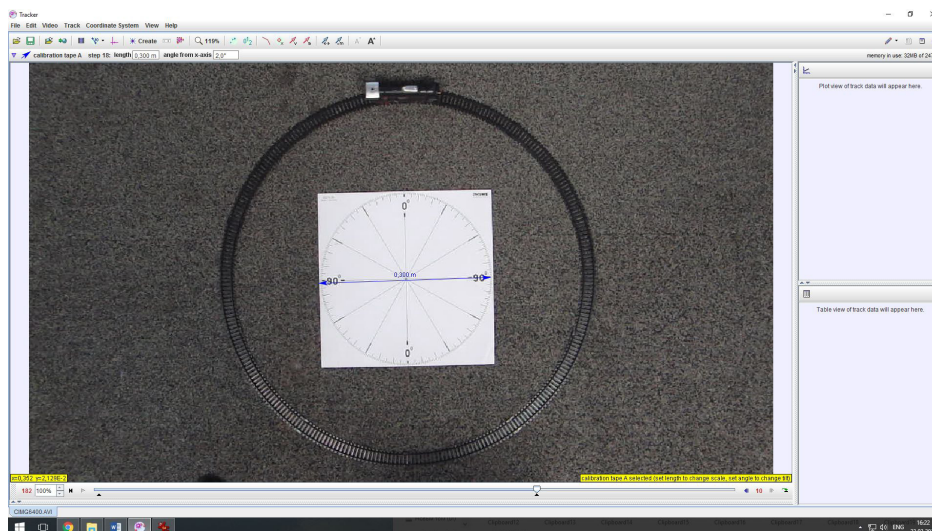
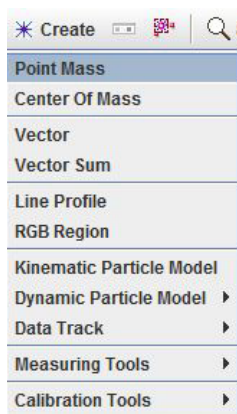


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

11. Для відстежування руху тіла оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



12. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.

13. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Повторюйте ці кроки до останнього обрано-го кадру (рис. 4).

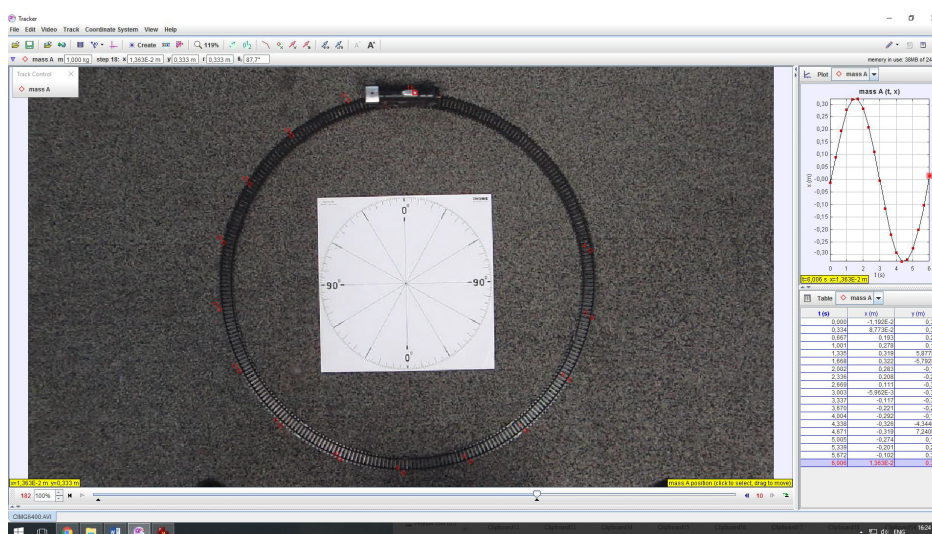


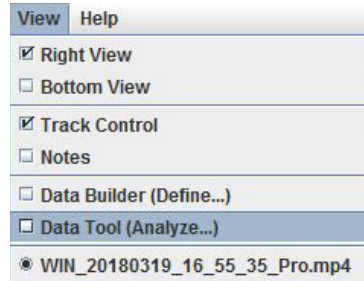
Рис. 5. Вигляд вікна програми Tracker після відстежування руху тіла



14. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Якщо вісь координат ОХ обрана горизонтально, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 5.
15. Для визначення лінійної швидкості руху тіла оберіть біля вертикальної осі позначку  $v$ .

### Частина 3. Аналіз даних

16. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



17. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею.

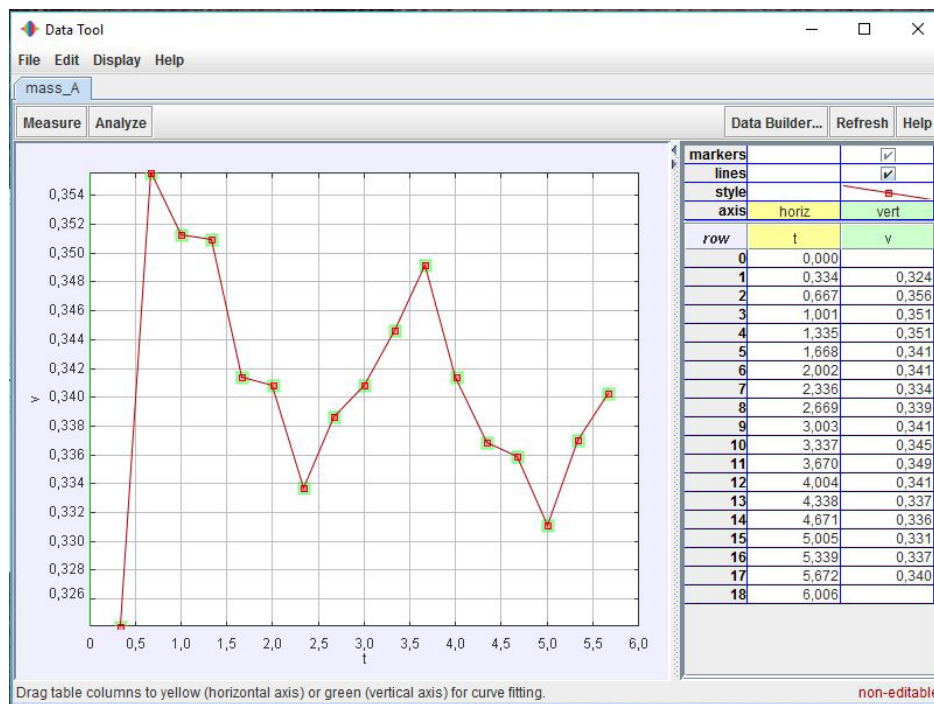


Рис. 6. Вигляд вікна Data Tool

18. Оскільки графік є ламаною, це свідчить про невеликі відхилення швидкості руху в межах його відстежування. Ці відхилення зумовлені незначними коливаннями пристрою для запису і неточністю визначення положення тіла при відстежуванні. Для отримання необхідного результату потрібно усереднити дані. Для цього оберіть Analyze → Statistics. Над таблицями з'являться статистичні дані. Оберіть значення швидкості у стрічці mean (середнє). Запис відтворюється у стандартному вигляді.
19. Щоб визначити кутову швидкість, спочатку оберіть одиницю виміру кутів у радіанах. Для цього відкрийте вікно додатку Data Tool, оберіть у верхній стрічці меню Coordinate System → Units. У вікні, що з'явиться, оберіть радіанну міру кутів (рис. 6).
20. У вікні графіків біля вертикальної осі оберіть кутову швидкість  $\omega$ . Відкрийте вікно Data Tool. Оберіть Analyze → Statistics. Над таблицями з'являться статистичні дані. Оберіть значення кутової швидкості у стрічці mean (середнє). Запис відтворюється у стандартному вигляді.
21. Для визначення доцентрового прискорення повторіть попередні кроки, обравши у позначеннях вертикальної осі графіка повне прискорення  $a$ .

## Лабораторна робота № 7.

### Дослідження умов рівноваги тіла під дією кількох сил

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, дослідити умови рівноваги тіла під дією кількох сил.

#### Завдання роботи:

1. Провести експерименти з тілом, що має закріплену вісь обертання, а також створити їх відеозапис.
2. Визначити за допомогою інструментів програми плечі дії сил.
3. Розрахувати і порівняти моменти дії сил за рівноваги тіла.

**Обладнання:** плоска фігура складної форми, лінійка або розграфлена поверхня, динамометри, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

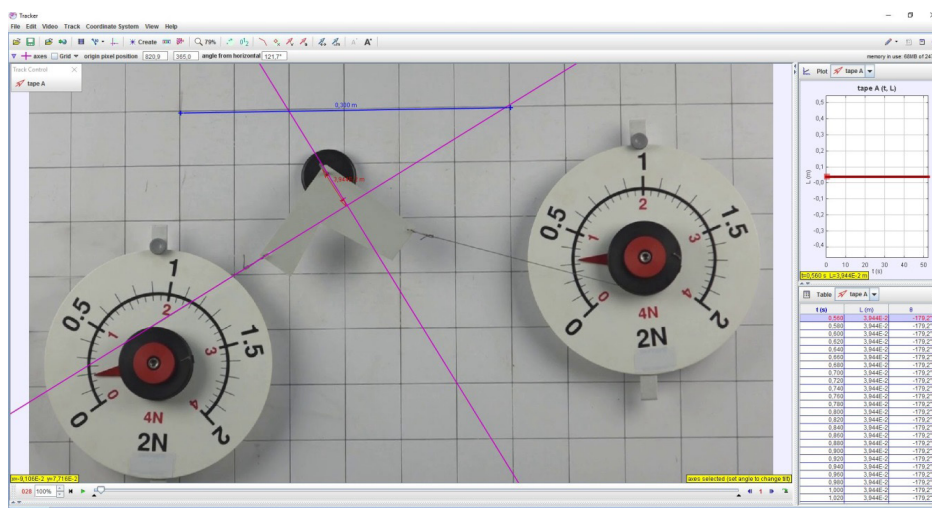


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для вимірювання плечей дії сил. Головним завданням роботи є порівняння моментів сил, прикладених до тіла, та перевірка справедливості правила моментів (рис. 1).

#### Хід роботи

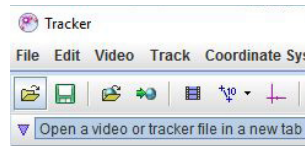
##### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть вісь кріплення фігури на магнітну поверхню і розташуйте динамометри у площині обертання.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (25–30 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб динамометри і тіло потрапляли у кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.

4. Розпочніть запис відео. Пересувайте динамометри площиною і зупиняйте їх на короткий час. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

### Частина 2. Опрацювання відео

5. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 2).

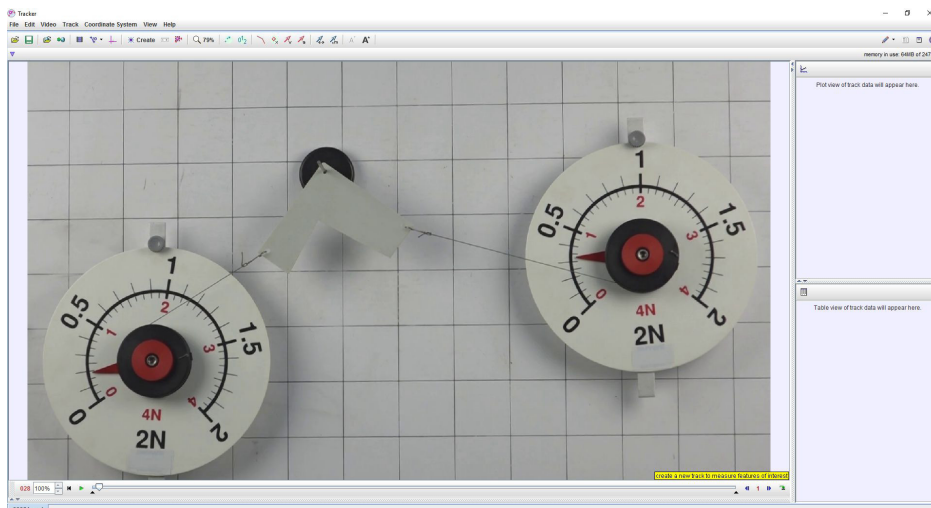
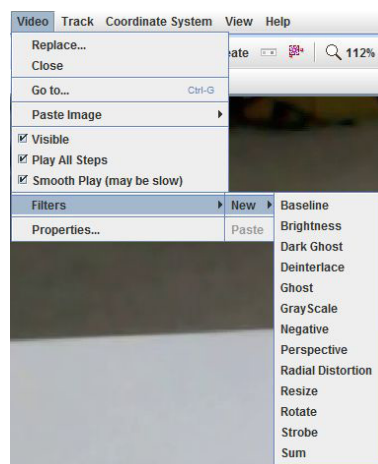




Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

6. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



7. Зупиніть запис відео на моменті першого положення динамометрів.
8. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуван-

ням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину (рис. 3).

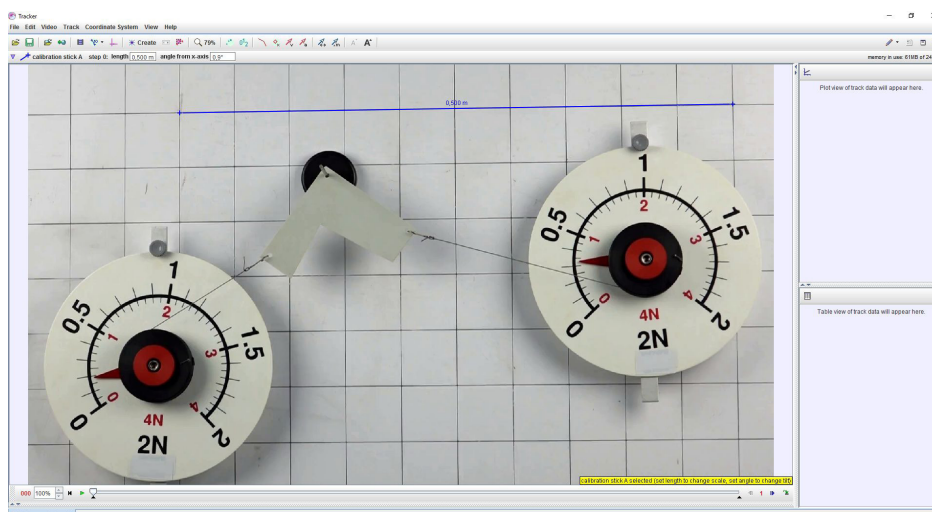



Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Осі координат можуть повертатися. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Систему координат можна переміщувати, перетягуючи її центр. Саме система координат буде одним із робочих інструментів для виконання цієї роботи.
10. Оскільки плечем сили є найкоротша відстань від осі обертання до прямої, вздовж якої діє сила, необхідно перемістити та повернути систему координат так, щоб одна з осей проходила через вісь, а інша збігалася з напрямком дії сили. Напрямок дії сили визначається напрямком на динамометр. У нашому прикладі це положення нитки, що з'єднує тіло і динамометр.
11. Для вимірювання плеча сили у верхньому меню програми оберіть Track  $\rightarrow$  New  $\rightarrow$  Measuring Tools  $\rightarrow$  Tape Measure. На екрані з'явиться двонаправлений відрізок. Шляхом перетягання сумістіть кінці цього відрізка з віссю обертання і початком координат.
12. Числове значення відстані  $l$  та значення сили  $F$ , яку вказує динамометр, запишіть до таблиці.
13. Повторіть попередні дії для другого динамометра.
14. Програйте відеозапис до наступного фіксованого положення тіла і динамометрів.
15. Повторіть виміри і записи для цього випадку.
16. Повторюйте ці дії для всіх випадків, зафіксованих на відео (рис. 4).

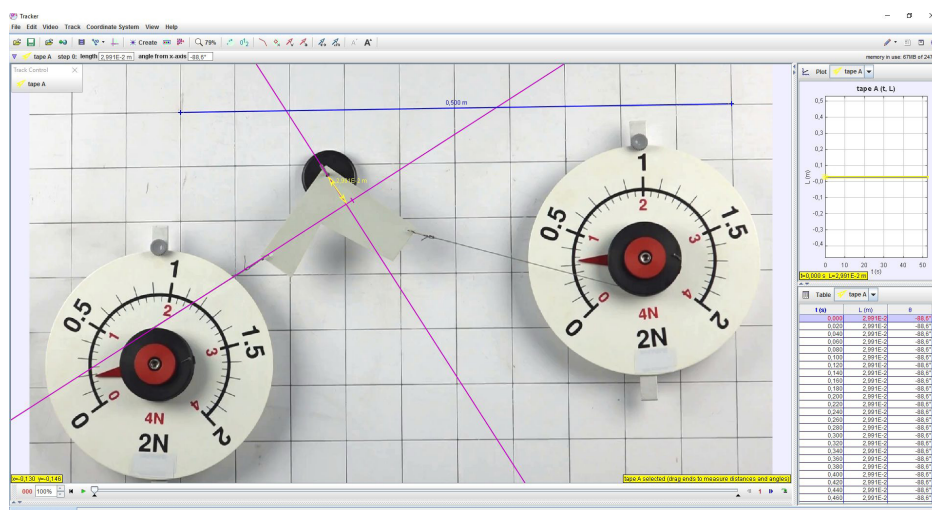


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після накладання системи координат та використання вимірювального відрізка

### Частина 3. Аналіз даних

17. Перейдіть до розрахунків моментів сил, що діють у кожному випадку, зафіксованому на відео. Розрахунки запишіть до таблиці. Врахуйте, що момент сили, яка обертає тіло за годинниковою стрілкою, вважається додатним, а проти – від'ємним:

$$M = Fl.$$

18. Зробіть висновок стосовно виконання правила моментів для проаналізованих випадків.

**Таблиця результатів**

№	Сила, що обертає тіло за годинниковою стрілкою, $F_1$ (Н)	Плече сили, що обертає тіло за годинниковою стрілкою, $l_1$ (м)	Сила, що обертає тіло проти годинникової стрілки, $F_2$ (Н)	Плече сили, що обертає тіло проти годинникової стрілки, $l_2$ (м)	Момент сили, що обертає тіло за годинниковою стрілкою, $M_1$ (Н·м)	Момент сили, що обертає тіло проти годинникової стрілки, $M_2$ (Н·м)
1.						
...						
...						
...						

## Лабораторна робота № 8.

### Дослідження пружних властивостей тіл

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, дослідити пружні властивості різних тіл.

#### Завдання роботи:

1. Провести експерименти з тілами, піддаючи їх деформації розтягу, та створити їх відеозапис.
2. Визначити деформацію розтягу тіл за допомогою інструментів програми.
3. Отримати графіки залежності видовження тіл від прикладеної сили.
4. Розрахувати жорсткість тіл та їх комбінацій.

**Обладнання:** гумовий джгут, набір пружин, лінійка або розграфлена поверхня, вантажі відомої маси, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>), Microsoft Excel.

#### Загальні відомості

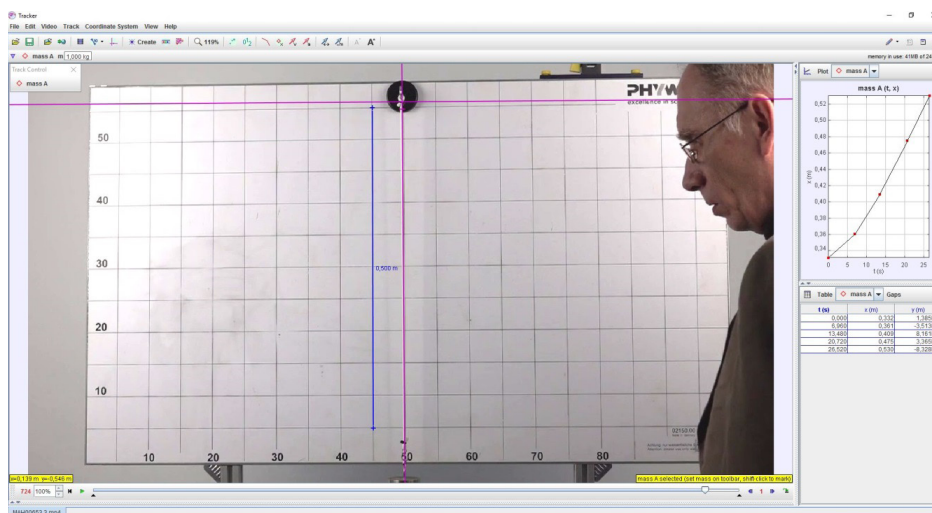


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для вимірювання видовження тіл при деформації розтягу. Головними завданнями роботи є побудова графіків залежності видовження тіл від прикладеної сили і визначення жорсткості тіл та їх комбінацій (рис. 1).

#### Хід роботи

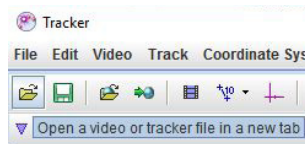
##### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть кріплення для тіл і доберіть максимальну кількість важків для їх деформації. Максимальна кількість важків обумовлена тим, щоб деформоване тіло не виходило за межі кадру і після зняття навантаження відновлювало свою форму. Установіть на кріпленні перше тіло – гумовий джгут.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (25–30 кадрів на секунду).

- Установіть пристрій так, щоб тіла потрапляли у кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
- Розпочніть запис відео. З невеликими проміжками в часі збільшуйте навантаження на джгут до максимально можливого. Виконайте зйомку для двох пружин окремо і для їх послідовного з'єднання. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

## Частина 2. Опрацювання відео

- Завантажте відео для видовження джгута у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



- Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 1).

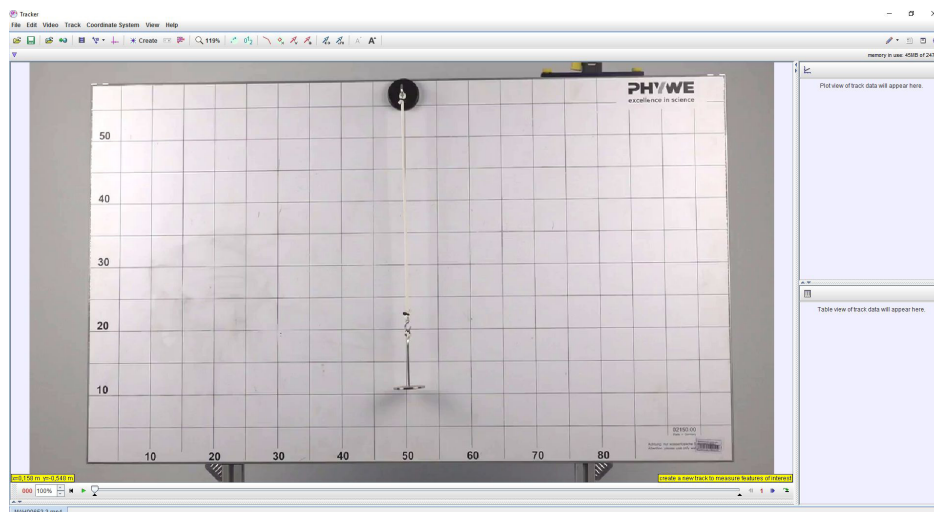
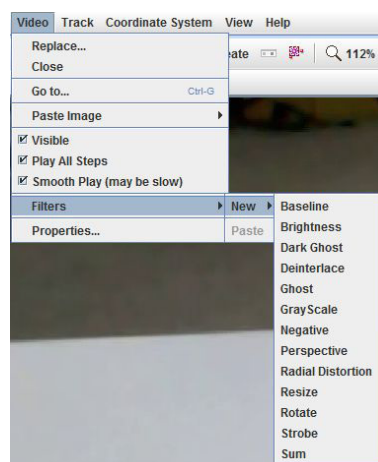




Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

- Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



- Зупиніть запис відео на моменті, коли навантаження на джгут створене винятково утримувачем вантажів.

9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину (рис. 3).

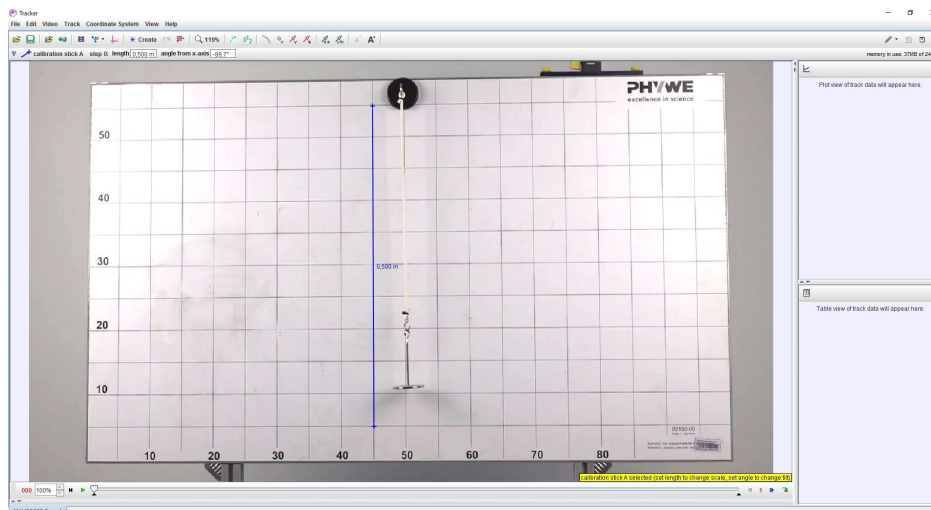


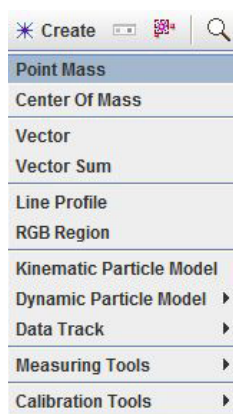


Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Осі координат можуть повертатися. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Систему координат можна переміщувати, перетягуючи її центр. Доцільно сумістити початок системи координат з верхньою позначкою на джгуті, а вісь  $Ox$  спрямувати вертикально вниз.
- Ще раз оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Програма запам'ятає розміщення осей.
11. Для відстежування руху тіла оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



12. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
13. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити (у нашому випадку це мітка на нижньому кінці джгута), і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.
14. Програйте відеозапис до кадру, на якому до джгута прикріплено перший вантаж, і повторіть трекування. Повторюйте цей крок до моменту прикріплення всіх вантажів (рис. 4).



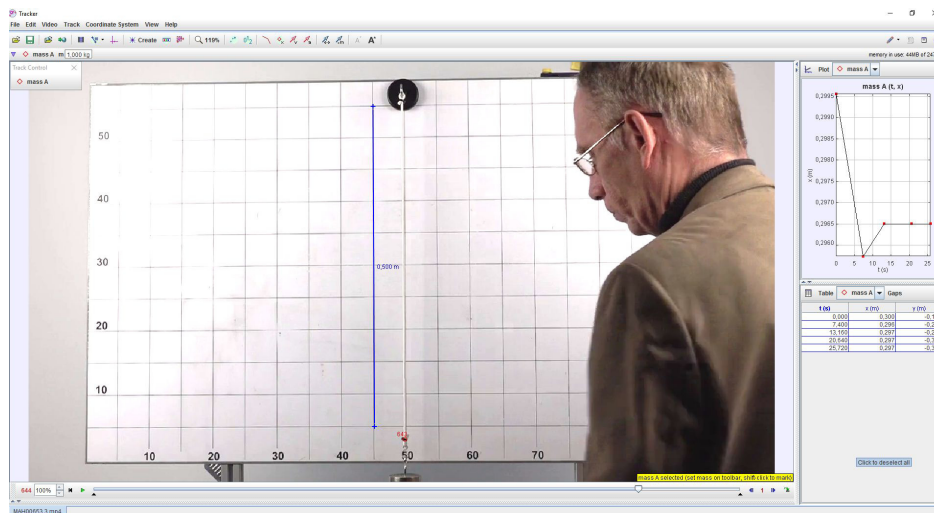


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після відстежування руху маркера

15. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.
16. Виділіть у таблиці колонку зі значеннями координати  $x$ , скопіюйте ці значення та перенесіть до математичних таблиць Excel.

t (s)	x (m)	y (m)
0,000	0,331	5,200E-3
7,400	0,362	1,222E-3
13,160	0,408	1,754E-3
20,640	0,473	1,420E-3
25,720	0,528	1,141E-3

Go To Step 643

- Full Precision
- As Formatted
- Set Delimiter
- Copy Selected Cells
- Numbers
- Text Columns
- Copy Image
- Snapshot...
- Define...
- Analyze...
- Print...
- Help...

17. Завантажте у програму по черзі інші записи для окремих пружин і для їх сполучення.
18. Повторіть усі кроки для кожного випадку і перенесіть значення координат на один лист таблиць Excel.

### Частина 3. Аналіз даних

19. Створіть у таблицях додаткові колонки для внесення значень сили  $F$ , прикладеної до джгута, та для абсолютного видовження  $\Delta x$ . Абсолютне видовження дорівнює різниці поточної довжини і довжини на початку експерименту:

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1)$$

20. Інструментами математичних таблиць розрахуйте абсолютне видовження джгута і пружин для кожного випадку навантаження.
21. Побудуйте точкові графіки залежності абсолютного видовження від прикладеної сили.

22. Оскільки сила пружності, що виникає при деформації, дорівнює за модулем прикладеній зовнішній силі, побудовані графіки будуть водночас графіками залежності  $F_{пр}(\Delta x)$ . За умови виконання закону Гука експериментальні точки мають належати одній прямій (рис. 5).
23. Створіть у кожній таблиці додаткову колонку для вирахування жорсткості тіла  $k$ .
24. Розрахуйте жорсткість  $k$  для кожного навантаження і середнє значення  $k_{сер}$  для кожного з тіл

$$k = \frac{F_{пр}}{\Delta x}. \quad (2)$$

25. Занотуйте до таблиці в кінці опису роботи значення усереднених жорсткостей тіл та їх комбінацій, отримані під час експерименту. Розрахуйте за формулою (3) теоретичне значення жорсткості  $k_{теор}$  для комбінації двох пружин та запишіть його до таблиці.

$$k_{теор} = \frac{k_{сер1} k_{сер2}}{k_{сер1} + k_{сер2}}. \quad (3)$$

26. Порівняйте теоретичне значення жорсткості  $k_{теор}$  комбінації пружин з експериментальним значенням  $k_{12}$ . Сформулюйте висновок до роботи.

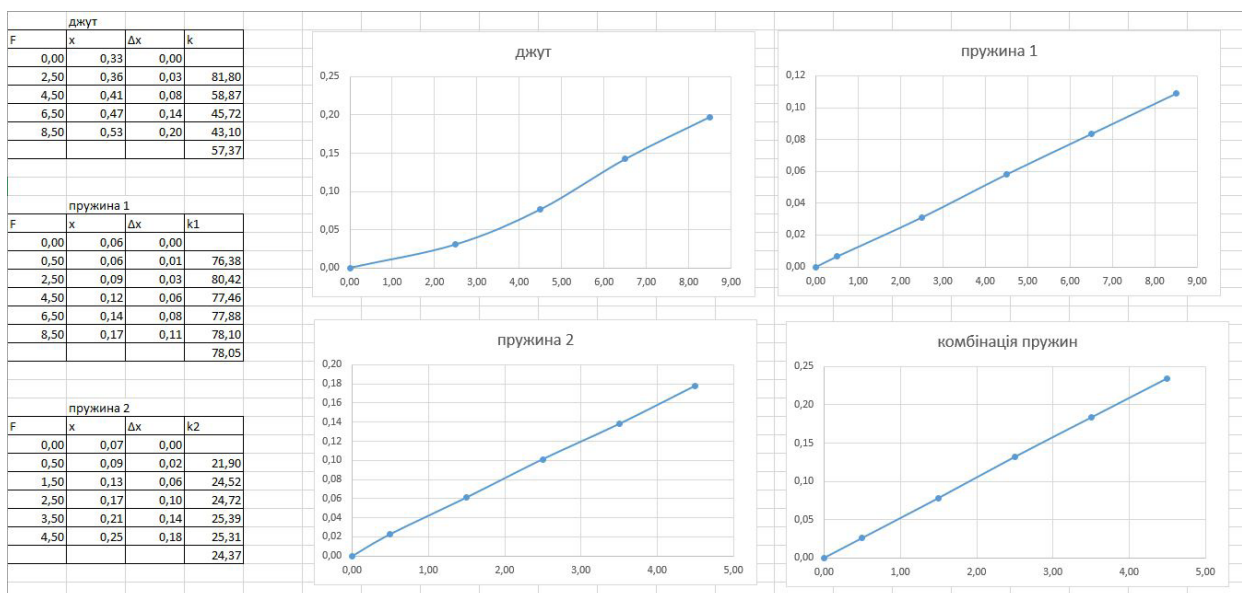


Рис. 5. Вигляд вікна програми Excel після опрацювання даних

### Таблиця результатів

Усереднена жорсткість джгута, $k$ (Н/м)	Усереднена жорсткість пружини, $k_{сер1}$ (Н/м)	Усереднена жорсткість пружини, $k_{сер2}$ (Н/м)	Усереднена жорсткість комбінації пружин, експериментальна, $k_{12}$ (Н/м)	Усереднена жорсткість комбінації пружин, теоретична, $k_{теор}$ (Н/м)

## Лабораторна робота № 9. Вимірювання моменту інерції тіла (варіант 1)

**Мета роботи:** визначити моменти інерції кулі і суцільного циліндра за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів.

### Завдання роботи:

1. Провести експеримент із кулею та циліндром, що скочуються по жолобу, а також створити відео-запис їхнього руху.
2. Побудувати графік руху кулі й циліндра і визначити їхні кінцеві швидкості.
3. Розрахувати за вимірами моменти інерції кулі й циліндра і порівняти їх із теоретично розрахованими значеннями.

**Обладнання:** штатив, куля, суцільний циліндр, лінійка, жолоб, терези, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

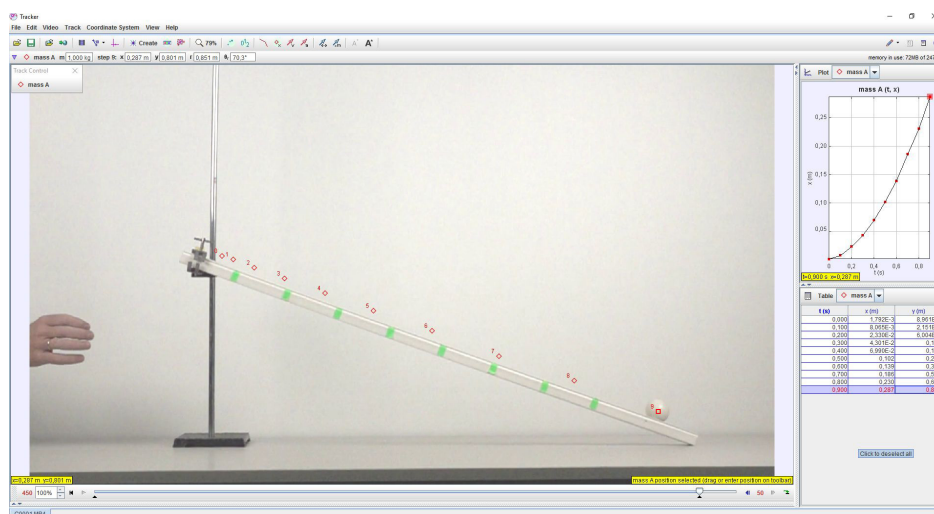


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення моменту інерції суцільної кулі і циліндра. При скочуванні їх із похилого жолобу потенціальна енергія перетворюється на кінетичну енергію поступального руху та кінетичну енергію їхнього обертання. За відсутності втрат енергії можна застосувати закон збереження механічної енергії, щоб отримати вираз для розрахунку моменту інерції кулі і циліндра за експериментальними даними (рис. 1).

Нехай нульовий рівень потенціальної енергії відповідатиме положенню тіла в точці 2 (рис. 2). У положенні 1 повна енергія тіла дорівнює його потенціальній енергії у полі сил земного тяжіння:

$$E_1 = mgh, \quad (1)$$

де  $m$  – маса тіла;  $h$  – висота центра мас тіла над нульовим рівнем.

У положенні 2 повна енергія тіла буде складатися з кінетичної енергії поступального та обертального руху:

$$E_2 = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}, \quad (2)$$

де  $v$  – швидкість тіла в точці 2;  $J$  – момент інерції тіла;  $\omega$  – кутова швидкість обертання тіла в точці 2.

Прирівнюючи повну енергію в точці 1 та 2, та виразивши кутову швидкість обертання тіла  $\omega$  через лінійну швидкість поступального руху  $v$  та радіус тіла  $r$ , отримуємо вираз для моменту інерції тіла:

$$J = mr^2(2gh/v^2 - 1), \quad (3)$$

який буде використано для розрахунків.

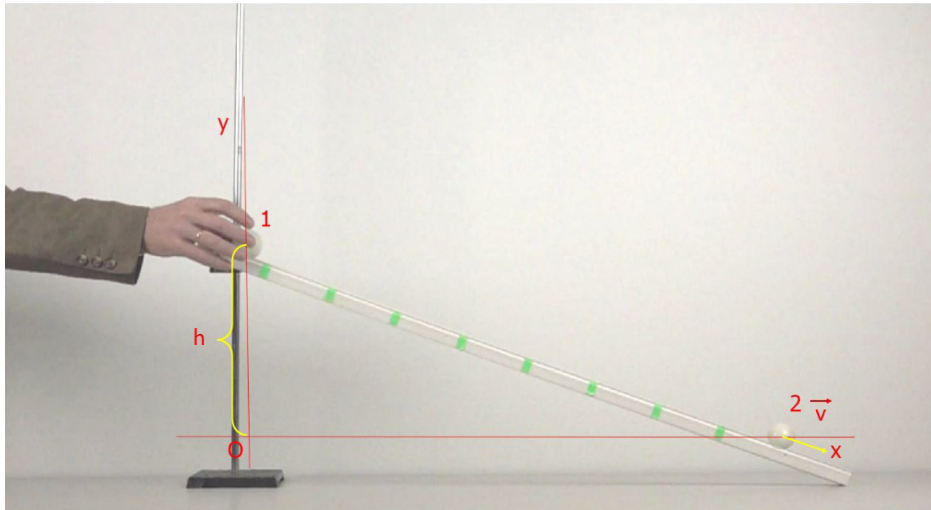


Рис. 2. Ілюстрація до виведення співвідношень

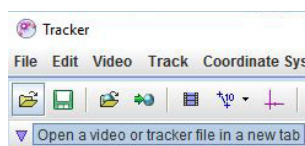
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть штатив і закріпіть у ньому жолоб. Бажано, щоб на поверхні жолобу були добре видимі помітки.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте максимально можливу частоту зйомки відео (240–1000 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб жолоб і тіло повністю потрапляли в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розпочніть запис відео і вільно відпустіть тіло. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант.
5. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Опрацювання відео

6. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео (рис. 3).

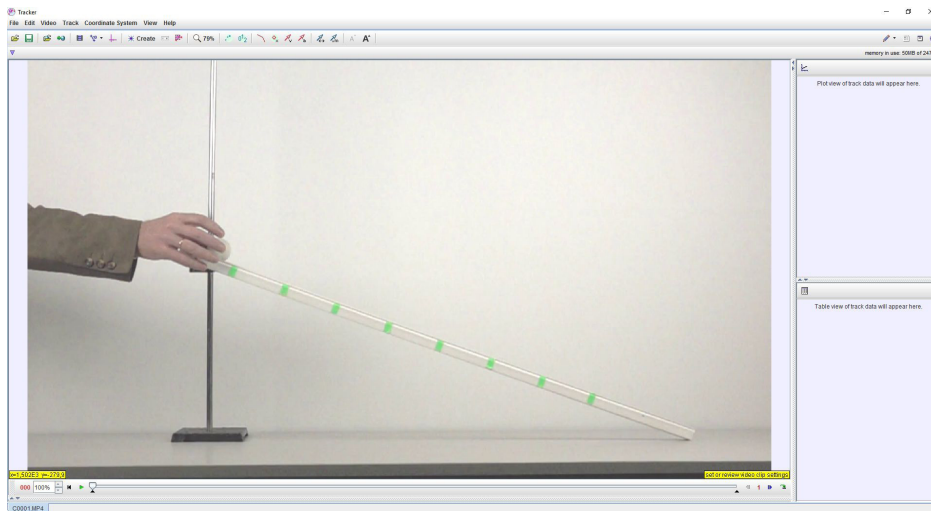
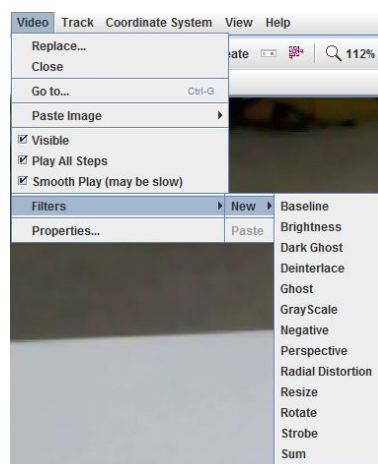





Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після завантаження відео

7. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
8. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



9. Установіть номер кадру, з якого розпочався рух тіла, і номер кадру, коли тіло майже скотилося з похилого жолобу. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



10. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового і кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
11. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з центром тіла на початку руху. Осі координат можуть повертатися. Програйте момент руху до кінцевого кадру і «проверніть» вісь так, щоб вона проходила через цю саму точку на кінцевому кадрі. Повертати систему координат можна, обравши вісь маніпулятором. Додатний напрямок на осі визначається короткою рисою на ній. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 4).

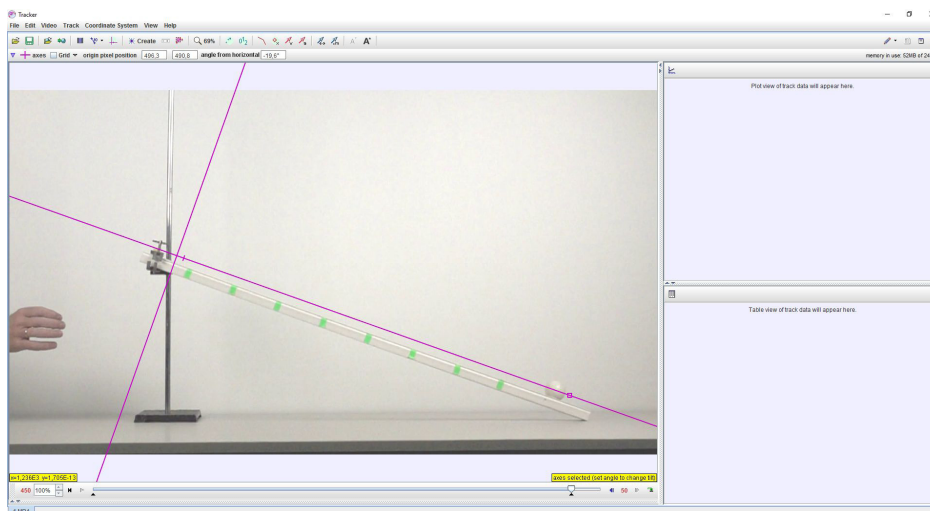




Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New  $\rightarrow$  Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину (рис. 5).

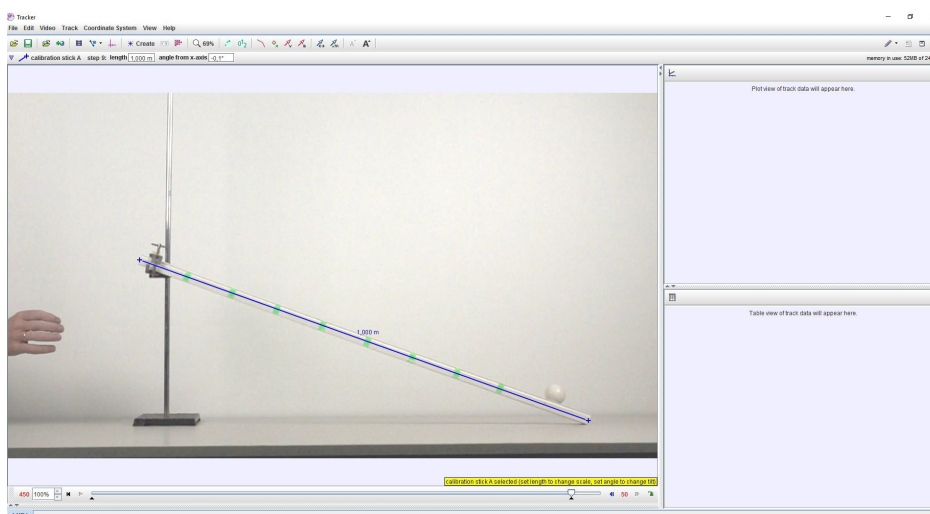
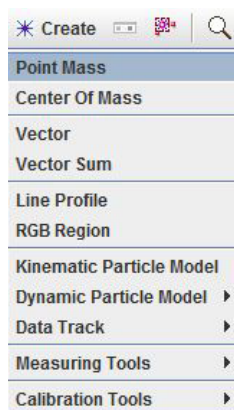


Рис. 5. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

13. Для відстежування руху тіла оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



14. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.

15. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку манипулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Повторюйте ці кроки до останнього обраного кадру.

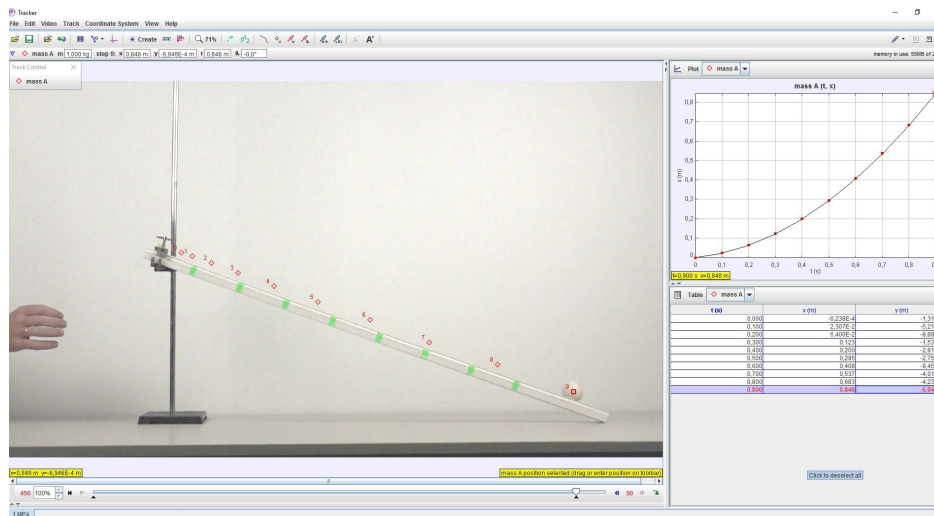
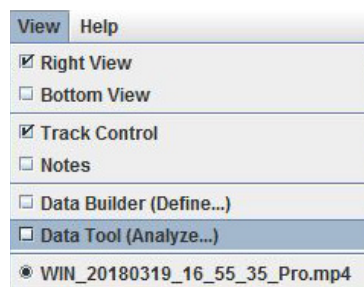


Рис. 6. Вигляд вікна програми Tracker після відстежування руху тіла

16. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Якщо вісь координат OX обрана вздовж руху тіла і спрямована в напрямку його руху, то графік матиме такий вигляд, як на рис. 6.

### Частина 3. Аналіз даних

17. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



18. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 7).

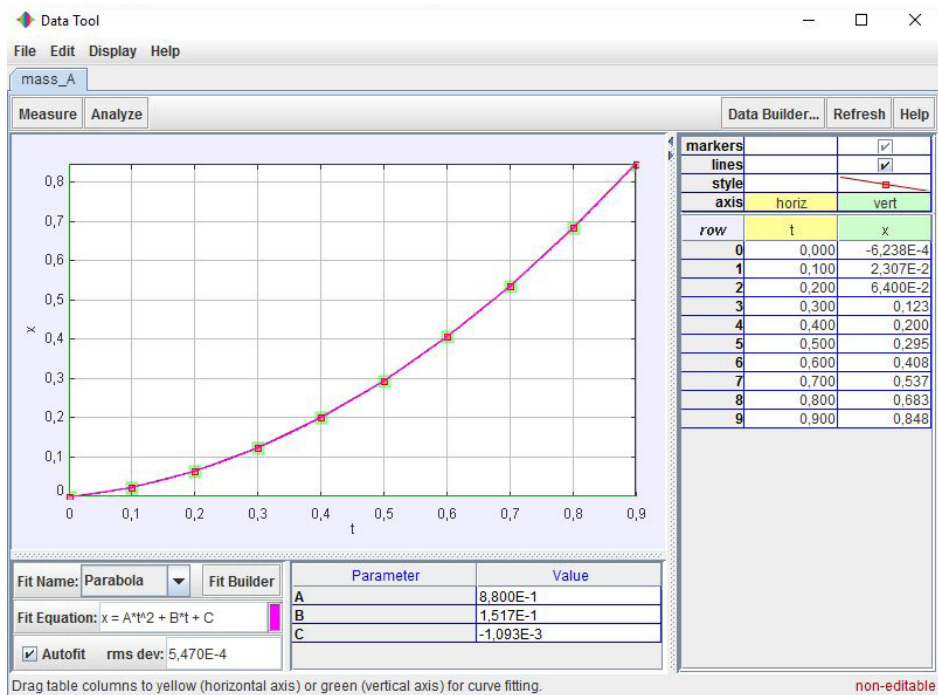


Рис. 7. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболу

19. Оскільки графік  $x(t)$  є частиною параболу, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $x(t) = at^2/2 + v_0t + x_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax_2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a/2$ , а  $B = v_0$ . Звідси прискорення  $a = 2A$ . Для визначення прискорення руху тіла необхідно знайти коефіцієнт  $A$  і помножити його на 2. Для визначення коефіцієнтів накладемо на графік параболу.
20. Оберіть вкладинку Analyze → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася параболу, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболу.
21. Розрахуйте прискорення руху тіла за коефіцієнтом  $A$ . Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді.
22. Розрахуйте кінцеву швидкість тіла за виразом:

$$v = v_0 + at, \quad (4)$$

де  $t$  – час, що відповідає найнижчому положенню тіла. Цей час визначається за таблицею у вікні Data Tool. Запишіть значення кінцевої швидкості до таблиці.

23. Закрийте вікно Data Tool і поверніть систему координат так, щоб вісь  $Ox$  стала горизонтальною. Контроль за положенням осей здійснюється за написом у верхній частині меню.
24. У правому полі графіка оберіть біля вертикальної осі напис  $y$ .
25. Відкрийте вікно Data Tool та залиште у табличному полі тільки ті помітки, що відповідають координаті по осі  $Oy$ . Визначте відстань, на яку змістилося тіло по вертикалі. Ця відстань і буде висотою  $h$ . Запишіть її значення до таблиці.
26. За допомогою терезів визначте масу тіла  $m$  (у нашому випадку  $m_k = 0,057$  кг,  $m_{\text{ц}} = 0,076$  кг). За допомогою лінійки визначте радіус тіла  $r$  (у нашому випадку  $r_k = 0,022$  м,  $r_{\text{ц}} = 0,024$  м). Значення запишіть до таблиці.
27. За експериментальними даними розрахуйте момент інерції тіла  $J_{\text{екс}}$ , використовуючи формулу (3). Запишіть значення до таблиці.
28. Використовуючи стандартний вираз для моменту інерції тіл правильної форми, розрахуйте теоретичний момент інерції тіла  $J_{\text{теор}}$ . Запишіть значення до таблиці.



29. Повторіть кроки частин 2 і 3 для іншого тіла. Порівняйте експериментальні значення моментів інерції з теоретично розрахованими значеннями і зробіть висновок.

**Таблиця результатів**

Назва тіла	Маса тіла, $m, (кг)$	Радіус тіла, $r, (м)$	Кінцева швидкість поступального руху тіла, $v, (м/с)$	Висота розміщення центра мас тіла, $h, (м)$	Експериментальне значення моменту інерції тіла, $J_{екс} (кг \cdot м^2)$	Теоретичне значення моменту інерції тіла, $J_{екс} (кг \cdot м^2)$
куля						
циліндр						

## Лабораторна робота № 9. Вимірювання моменту інерції тіла (варіант 2)

**Мета роботи:** визначити момент інерції диску і момент сил тертя на осі за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів.

### Завдання роботи:

1. Провести чотири експерименти з диском, який обертається на осі під дією вантажу, що опускається, та створити відеозапис руху системи.
2. Визначити прискорення руху вантажу, кутове прискорення диска в кожному випадку.
3. Розрахувати момент сил, що приводять диск у обертання, в кожному випадку.
4. Побудувати графік залежності моменту сил від кутового прискорення.
5. Розрахувати за графіком момент інерції диска і момент сил тертя на осі диска.

**Обладнання:** модель гіроскопа із закріпленою віссю обертання, висока підставка, набірний вантаж, лінійка, нитка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

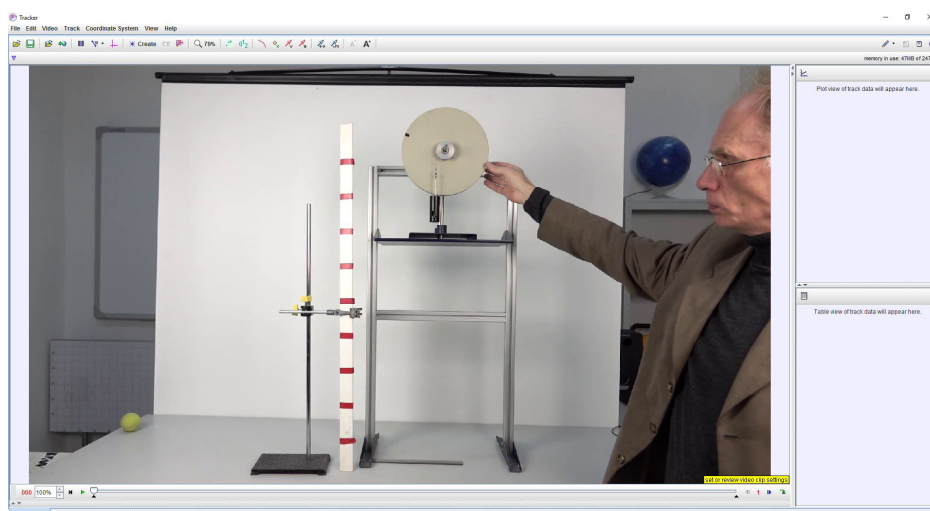


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення моменту інерції диска із закріпленою віссю обертання. Диск приводиться в рух завдяки вантажу, що опускається під дією сили земного тяжіння. Вантаж з'єднаний ниткою зі шківом, який закріплено на диску. Радіус шківа – 2,2 см. У роботі використовується набірний вантаж, маса якого збільшується на 50 г у кожному експерименті (рис. 1).

На тягарець діють сила тяжіння  $mg$  і сила натягу нитки  $T$ . У проекціях на напрямок прискорення тягарця отримуємо рівняння руху тягарця у скалярній формі:

$$ma = mg - T. \quad (1)$$

За III законом Ньютона, на шків діє протилежно спрямована сила, модуль якої дорівнює модулю сили  $T$ . Сила  $T$  створює момент сили, що діє на шків. Момент цієї сили відносно осі обертання шківів дорівнює:

$$M = T \cdot r, \quad (2)$$

де  $r$  – радіус шківів.

Обертання диска визначається моментом сили натягу нитки  $M$  і моментом сил тертя  $M_{тр}$ , що дає змогу записати основне рівняння обертального руху у вигляді:

$$I\varepsilon = M - M_{тр}, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – кутове прискорення диска.

З рівнянь (1) і (2) одержимо момент сили натягу нитки відносно осі обертання:

$$M = m(g - a)r. \quad (4)$$

Перепишемо рівняння (3) у зручному для перевірки вигляді:

$$M = M_{тр} + I\varepsilon. \quad (5)$$

Цей вираз означає, що залежністю  $M(\varepsilon)$  є пряма лінія, кутовий коефіцієнт  $k$  якої чисельно дорівнює моменту інерції системи:

$$I = k = \frac{\Delta M}{\Delta \varepsilon},$$

а точка перетину прямої з віссю  $M$  відповідає моменту сил тертя  $M_{тр}$ , що ілюструє рис. 2.

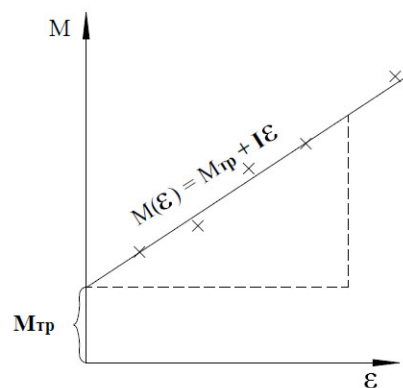


Рис. 2. Залежність моменту сил від кутового прискорення

Маючи в розпорядженні набірний вантаж, можна в достатньо широких межах змінювати масу  $m$ , а значить, і величину  $M$ . Тобто можна експериментально отримати залежність  $M(\varepsilon)$ , побудувати графік, отримати лінію тренду в математичних таблицях, розрахувати момент інерції диску  $I$  і момент сил тертя  $M_{тр}$ .

### Хід роботи

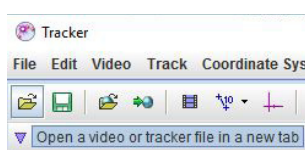
#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть високу підставку, а на неї – модель гіроскопа. Закріпіть у площині обертання вертикально лінійку з добре помітними поділками. Доберіть довжину нитки так, щоб при досягненні поверхні столу вона від'єднувалася від шківів.

2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Доберіть перший вантаж, намотайте нитку на шків.
5. Розпочніть запис відео і вільно відпустіть диск.
6. Зробіть ще три записи, збільшуючи масу вантажу.
7. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

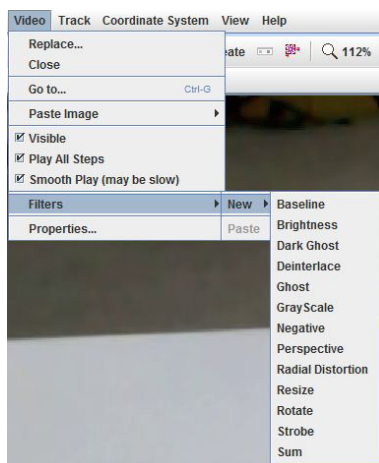
## Частина 2. Опрацювання відео

8. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.

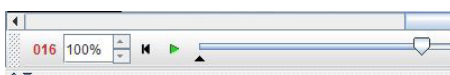




Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.


9. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
10. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



11. Установіть номер кадру, з якого розпочався рух системи, та номер кадру, коли вантаж майже торкнувся поверхні столу. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
13. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідає ситуації.

Наприклад, сумістіть її з віссю обертання диска. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятує (рис. 3).

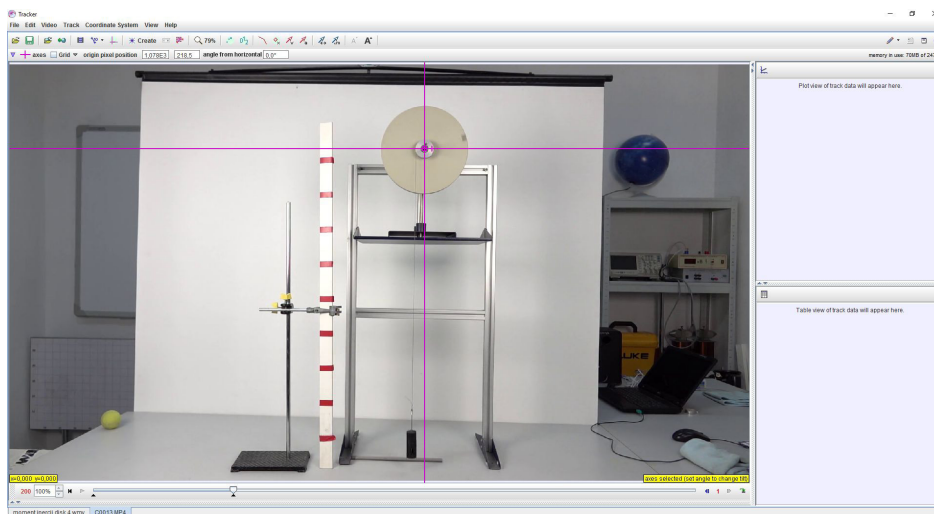




Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення і довжину (рис. 4).

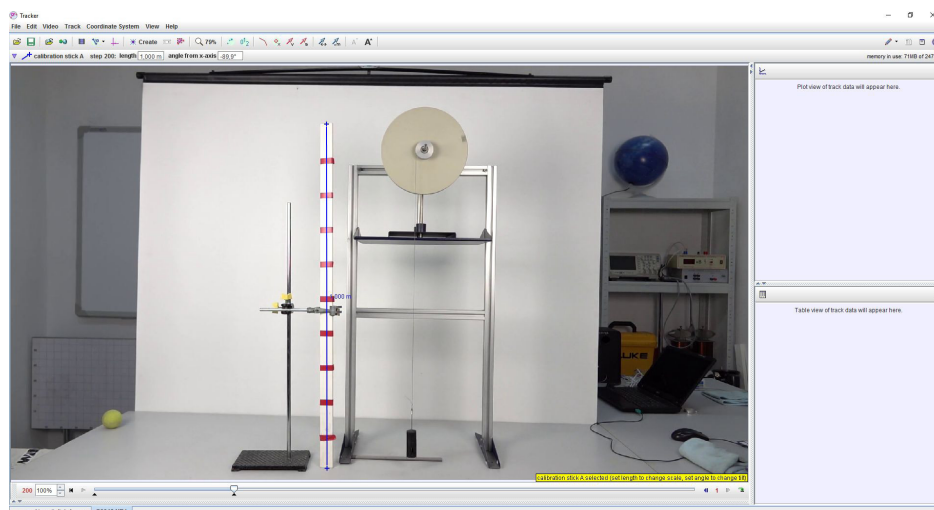
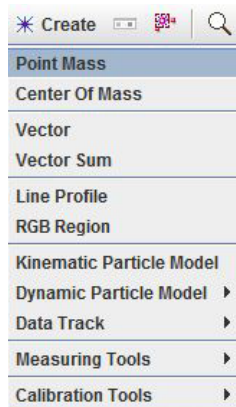


Рис. 4. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

15. У програмі буде відстежуватися рух двох точок – одна з них суміщена з вантажем, що опускається, друга – з поміткою на диску. Для відстежування руху першої точки оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



16. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
17. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на вантажі, за якою ви буде стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки і програма автоматично перейде на наступний кадр. Повторюйте ці кроки до останнього обраного кадру.

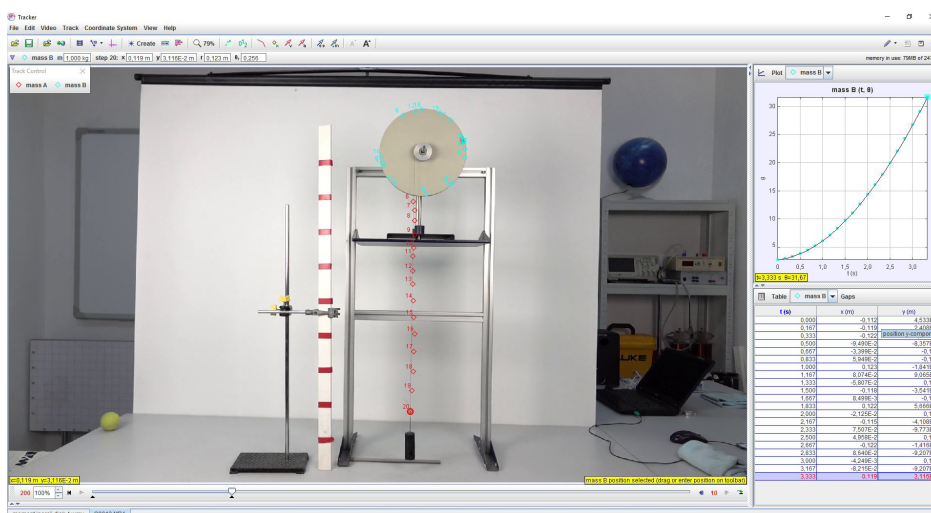
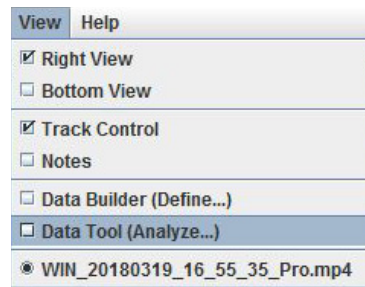


Рис. 5. Вигляд вікна програми Traker після відстежування руху тіла

18. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.
19. Для відстежування руху точки на диску знову оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.
20. У вікні Track Control з'явиться ще один напис mass B.
21. Поверніться на перший кадр і повторіть відстежування помітки на диску до останнього кадру.
22. У верхній частині меню оберіть посилання Coordinate System – Units. У вікні, що з'явиться, вкажіть на вимірювання кутів у радіанах. Якщо вісь координат OX обрана горизонтально, то вікно програми матиме такий вигляд, як на рис. 5.

### Частина 3. Аналіз даних

23. Для визначення прискорення руху набірною вантажу у полі графіка вікна програми оберіть вкладку mass A та біля вертикальної осі координат – y.
24. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



25. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 6).

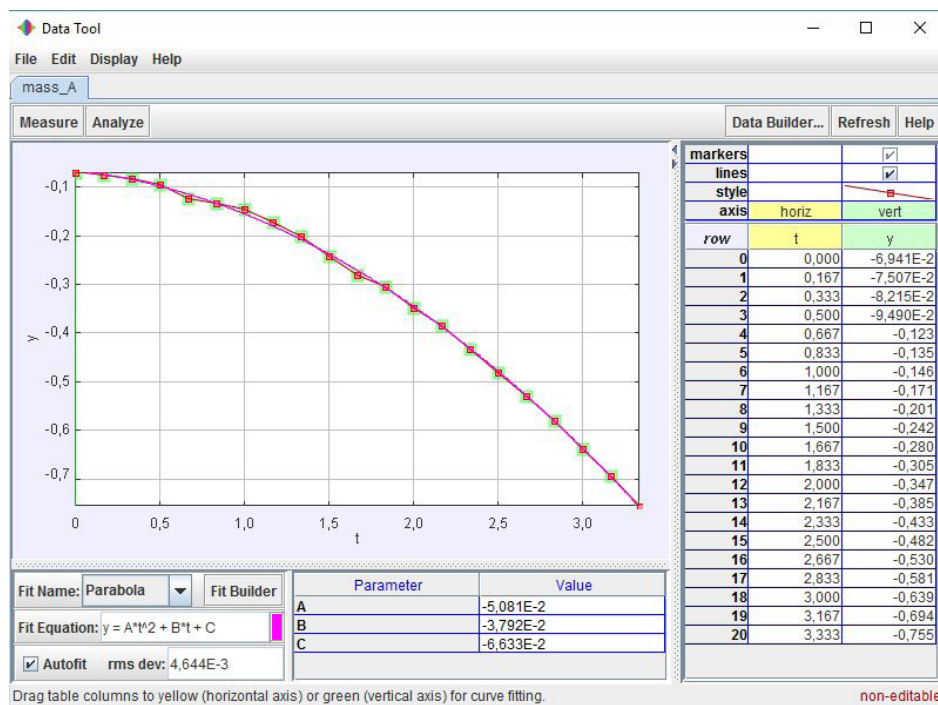


Рис. 6. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболу

26. Оскільки графік  $y(t)$  є частиною параболу, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $y(t) = at^2/2 + v_0t + y_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a/2$ , а  $B = v_0$ . Звідси прискорення  $a = 2A$ . Для визначення прискорення руху тіла необхідно знайти коефіцієнт  $A$  і помножити його на 2. Для визначення коефіцієнтів накладемо на графік параболу.
27. Оберіть вкладки Analyze → Curve Fits, а в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася параболу, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболу.
28. Розрахуйте прискорення руху тіла за коефіцієнтом  $A$ . Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді. Знак біля коефіцієнта зумовлений напрямком осі. Для подальших розрахунків важливий тільки його модуль. Запишіть значення прискорення до таблиці.
29. Закрийте вікно Data Tool, а у вікні графіка оберіть mass B. Біля вертикальної осі оберіть кут повороту  $\theta$ .
30. Відкрийте вікно Data Tool. Проведіть накладання параболу на графік та за коефіцієнтом  $A$  розрахуйте значення кутового прискорення  $\epsilon = 2A$ . Запишіть значення до таблиці.
31. За формулою (4) розрахуйте значення моменту сил  $M$ . Запишіть значення до таблиці.
32. Для отримання всіх попередніх даних для інших вантажів проведіть усі попередні кроки для інших трьох записів. Усі дані записуйте до таблиці.
33. Перенесіть отримані дані чотирьох експериментів для моментів сил  $M$  та кутових прискорень  $\epsilon$  у математичні таблиці Excel (рис. 7).

34. Побудуйте точкову діаграму для цих даних і впишіть лінію тренду, використовуючи інструменти математичних таблиць.
35. За отриманим рівнянням лінії тренду визначте значення моменту інерції диску  $I$  і моменту сил тертя на осі  $M_{тр}$ . Отриманий результат занесіть до таблиці і сформулюйте висновок до роботи.

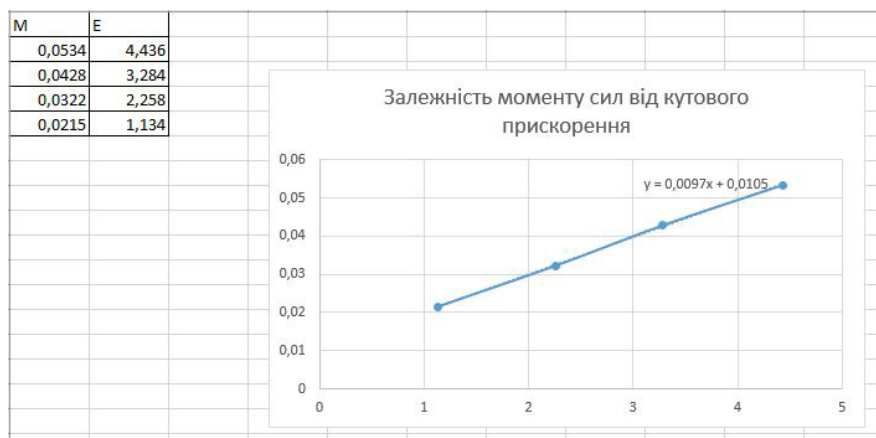


Рис. 7. Вигляд вікна математичних таблиць Excel

### Таблиця результатів

№ з/п	Маса вантажу, $m$ , (кг)	Радіус шківів, $r$ , (м)	Прискорення руху вантажу, $a$ , (м/с <sup>2</sup> )	Кутове прискорення диска, $\epsilon$ , (рад/с <sup>2</sup> )	Момент сил, $M$ (Н·м)	Експериментальне значення моменту інерції диска, $J_{екс}$ (кг·м <sup>2</sup> )	Момент сил тертя, $M_{тр}$ (Н·м)
1	0,1	0,022					
2	0,15						
3	0,2						
4	0,25						



## Лабораторна робота № 10. Дослідження руху зв'язаної системи тіл

**Мета роботи:** визначити прискорення руху системи зв'язаних тіл за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів і порівняти його значення зі значеннями, отриманими теоретично.

### **Завдання роботи:**

1. Провести декілька експериментів із системою зв'язаних тіл за різних співвідношень їхніх мас і створити відеозаписи руху.
2. Визначити прискорення руху системи в кожному випадку.
3. Розрахувати прискорення руху системи в кожному випадку.
4. Порівняти експериментальні дані з теоретичними.

**Обладнання:** нерухомий блок, штатив, набірні вантажі, невеликі тягарці масою 1 г, лінійка, нитка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

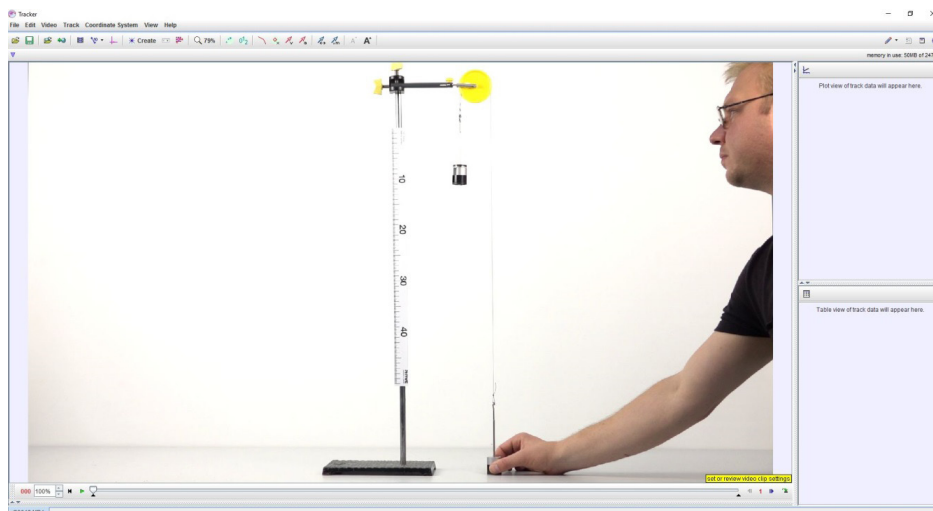


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення прискорення руху системи зв'язаних тіл на нерухомому блоці. Як зв'язані тіла використовуються набірні вантажі, маса яких може плавно змінюватися з кроком у 10 г. Нерухомий блок закріплено на штативі, до якого приєднана лінійка (рис. 1).

Оскільки маси набірних вантажів набагато більші за масу блоку, при складанні динамічного рівняння руху системи знехтуємо моментом інерції блоку. Щоб виключити наявний момент сил тертя у блоці, на початку експерименту доберемо додатковий вантаж з набору дрібних тягарців, за якого система рухається рівномірно після легкого поштовху. В еталонній роботі маса такого вантажу складала 3 г. Надалі масу цього вантажу не будемо враховувати при розрахунках.

Для побудови динамічної моделі вважатимемо, що вісь координат спрямована вгору. На набірні вантажі діють сила тяжіння і сила натягу нитки. У проєкціях на напрямки прискорення вантажів отримуємо систему рівнянь їхнього руху в скалярній формі:

$$\begin{cases} -m_1 g + T = -m_1 a \\ -m_2 g + T = m_2 a \end{cases} \quad (1)$$

Після перетворень рівнянь отримаємо вираз для розрахунку модуля прискорення руху системи тіл:

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g. \quad (2)$$

Маючи в розпорядженні набірні вантажі, можна в достатньо широких межах змінювати їхню масу, а значить, і величину прискорення, а також порівняти експериментальні дані з математичною моделлю.

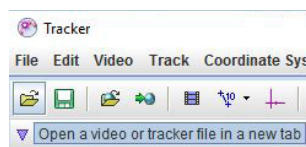
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі штатив і закріпіть у ньому нерухомий блок. Приєднайте до штатива лінійку. Доберіть довжину нитки, достатню для вільного руху набірних вантажів, так, щоб при ударі одного вантажу об поверхню столу інший ще не торкався блоку. Закріпіть на кінцях нитки два однакових вантажі масою 100–150 г.
2. Визначте, який вантаж буде рухатися вниз, і, плавно довантажуючи його дрібними тягарцями, досягніть того, щоб за невеликого поштовху система приходила в рівномірний рух.
3. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
4. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
5. На вантаж, що буде рухатися вниз, установіть додатковий вантаж (орієнтовно 10 г).
6. Розпочніть запис відео. Відтягніть менший вантаж до поверхні столу і вільно відпустіть його. Намагайтеся, щоб під час руху вантажі не коливалися. Зробіть декілька записів для того, щоб можна було вибрати найкращий варіант.
7. Збільшіть масу обох вантажів ще на 10 г. Повторіть експеримент і запис відео.
8. Поступово збільшуючи масу обох вантажів, зробіть ще мінімум три експерименти.
9. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

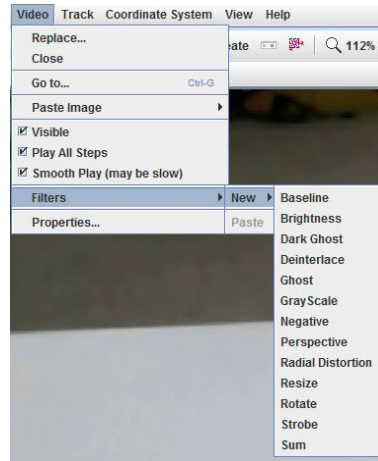
#### Частина 2. Опрацювання відео

10. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтесь кнопкою Open у верхньому меню програми.

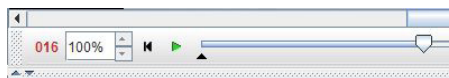





Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

11. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
12. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



13. Установіть номер кадру, з якого розпочався рух системи, та номер кадру, коли вантаж майже торкнувся поверхні столу. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового і кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
15. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з віссю обертання блоку. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 2).

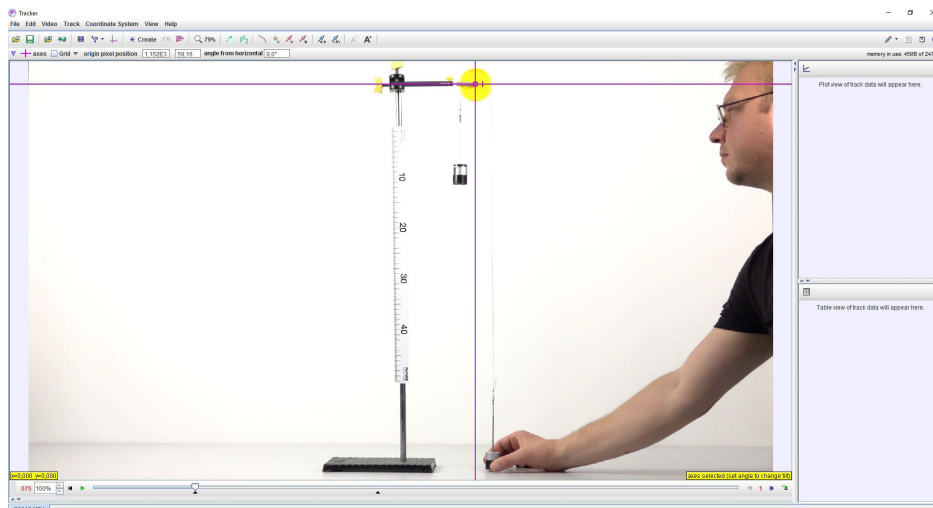


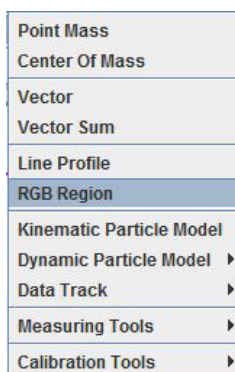


Рис. 2. Вигляд вікна програми Traker після встановлення положення системи координат

16. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create alibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.

17. У програмі буде відстежуватися рух вантажу, що прямує донизу. Для відстежування руху першої точки оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – RGB region. Ця функція буде відстежувати невелику ділянку екрана з однаковим розподілом кольору. Її використання виправдане в разі якісного відеозапису і має на меті точне визначення положення тіла на багатьох кадрах.



18. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
19. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на вантажі, за якою ви буде стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться колоподібний маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.

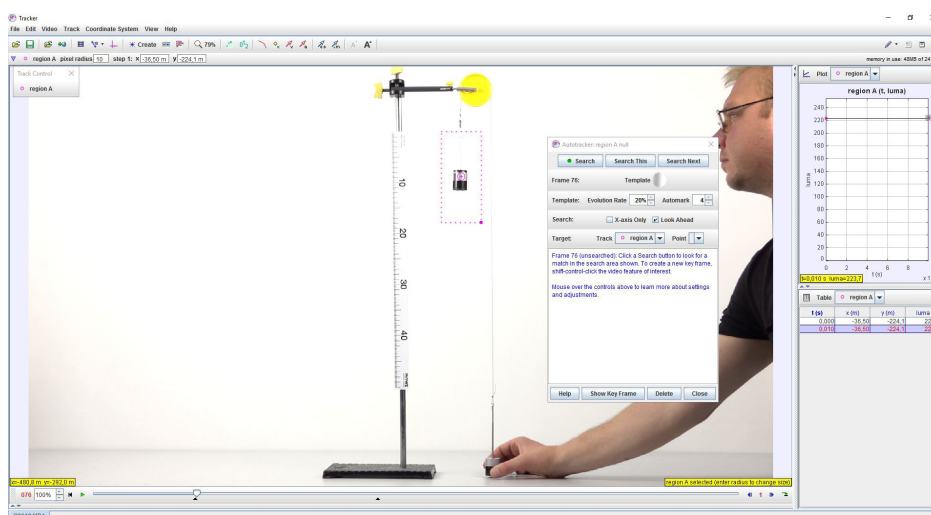
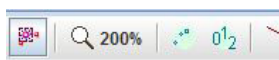


Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker при виборі автотрекінгу

20. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



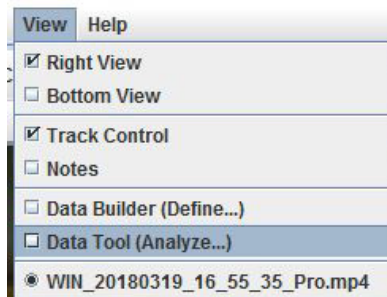
кнопку

21. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу (рис. 3).
22. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися RGB регіон, який позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'явиться пунктирна рамка. Рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме наявність регіону. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.

23. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону та рівномірність забарвлення обраного регіону на всіх кадрах. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
24. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Поблизу вертикальної осі графіка оберіть у. Якщо вісь координат Оу обрана вертикально, то графік матиме вигляд параболи.

### Частина 3. Аналіз даних

25. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



26. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 4).

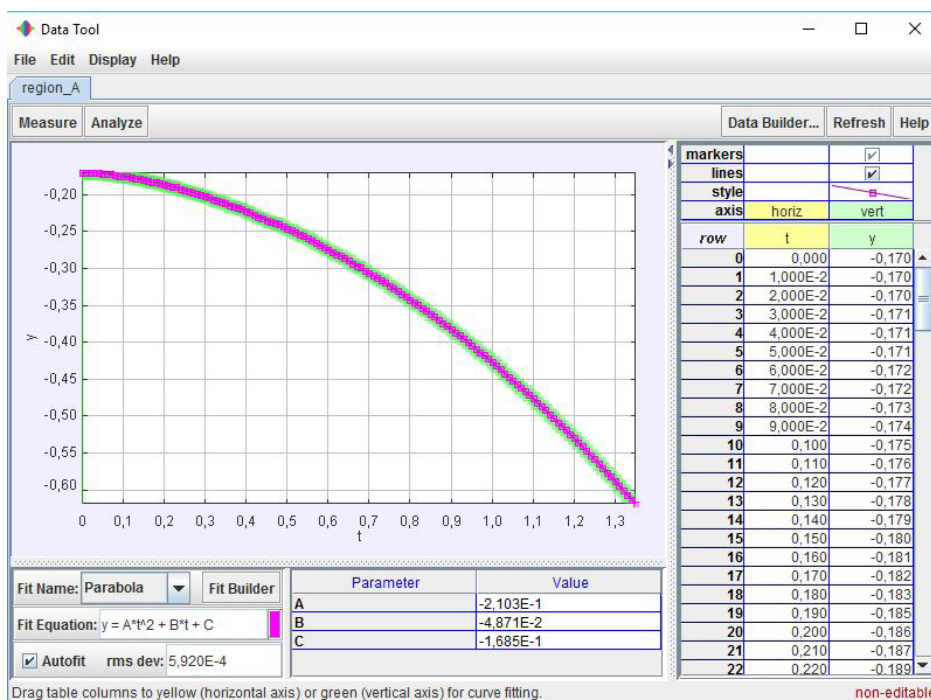


Рис. 4. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболи

27. Оскільки графік  $y(t)$  є частиною параболи, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $y(t) = at^2/2 + v_0t + y_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a/2$ , а  $B = v_0$ . Звідси прискорення  $a = 2A$ . Для визначення прискорення руху тіла необхідно знайти коефіцієнт  $A$  і помножити його на 2. Для визначення коефіцієнтів накладемо на графік параболу.

28. Оберіть вкладинку Analyse → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Parabola. Поверх графіка руху з'явилася парабола, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболи.
29. Розрахуйте прискорення руху тіла за коефіцієнтом A. Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді. Знак біля коефіцієнта зумовлений напрямком осі. Для подальших розрахунків важливий тільки його модуль. Запишіть значення прискорення до таблиці.
30. Щоб отримати дані для інших вантажів, здійсніть усі попередні кроки для інших записів. Усі дані записуйте до таблиці.
31. За формулою (2) розрахуйте теоретичні значення прискорення руху системи для кожного випадку. Усі дані записуйте до таблиці.
32. За отриманими даними виконайте порівняння значень та сформулюйте висновок до роботи.

Таблиця результатів

№	Маса першого вантажу, $m_1$ (кг)	Маса другого вантажу, $m_2$ (кг)	Прискорення руху системи експериментальне, $a_{екс}$ (м/с <sup>2</sup> )	Прискорення руху системи теоретичне, $a_{теор}$ (м/с <sup>2</sup> )
1				
2				
3				
4				
5				

## Лабораторна робота № 11.

### Визначення гальмівного шляху тіла та коефіцієнта тертя ковзання

**Мета роботи:** визначити коефіцієнт сухого тертя ковзання за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів.

#### Завдання роботи:

1. Провести декілька експериментів із системою, що складається з бруска і динамометра, за різних навантажень бруска, а також створити відеозаписи руху.
2. Визначити прискорення руху системи під час гальмування в кожному випадку.
3. Розрахувати коефіцієнт сухого тертя ковзання в кожному випадку і знайти середнє значення.

**Обладнання:** дерев'яна поверхня, штатив, брусок, динамометр, вантажі, лінійка, нитка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

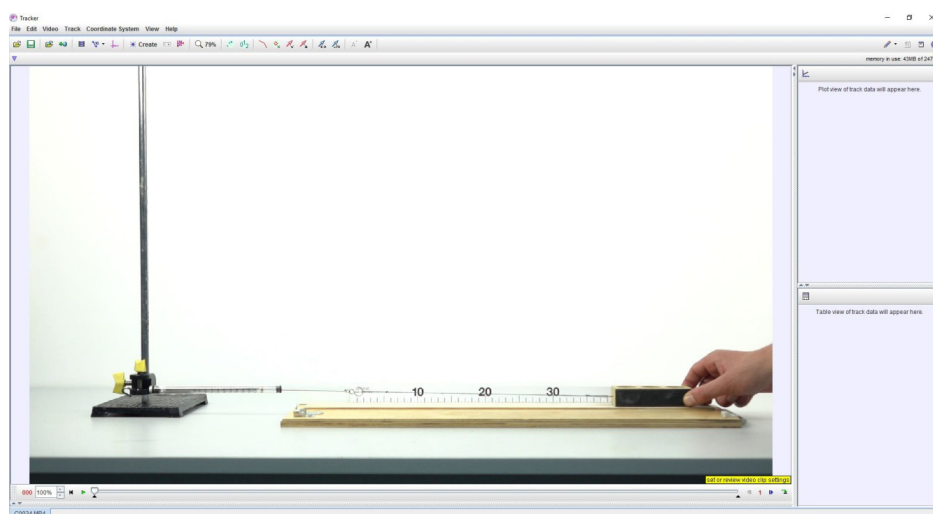


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення прискорення руху системи в момент гальмування. Система складається з динамометра та бруска, зв'язаних ниткою.

Оскільки в момент гальмування прискорення бруску надаватиме тільки сила тертя, динамічне рівняння матиме вигляд:

$$\mu mg = ma. \quad (1)$$

Після перетворень отримаємо вираз для розрахунку коефіцієнта сухого тертя:

$$\mu = \frac{a}{g}. \quad (2)$$

Маючи в розпорядженні вантажі, можна змінювати масу бруска та визначити прискорення його руху в кількох випадках.

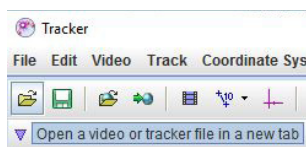
## Хід роботи

### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі штатив і закріпіть у ньому динамометр в горизонтальному положенні. Установіть на столі дерев'яну поверхню. Доберіть довжину нитки, якою буде скріплено брусок і динамометр, так, щоб забезпечити максимальний розтяг пружини динамометра та дати бруску можливість рухатися до повної зупинки. Приєднайте до поверхні лінійку.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте підвищену частоту зйомки відео (60–100 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розпочніть запис відео. Відтягніть брусок так, щоб сила натягу нитки склала 2 Н, і вільно відпустіть його. Зробіть декілька записів для того, щоб можна було вибрати найкращий варіант.
5. Збільшіть масу бруска на 50 г. Повторіть експеримент і запис відео.
6. Повторіть запис за інших навантажень бруска.
7. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

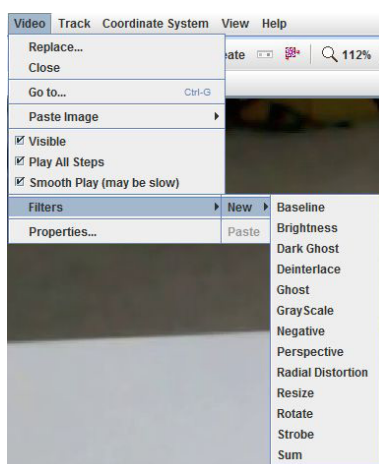
### Частина 2. Опрацювання відео

8. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.

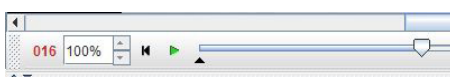


Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.




9. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
10. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



11. Установіть номер кадру, з якого розпочалося гальмування бруска, і номер кадру, коли брусок повністю зупинився. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.





12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового і кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
13. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з точкою на бруску, за якою буде відстежуватися його рух. Поверніть координатні осі так, щоб напрямок осі O<sub>x</sub> збігався з напрямком руху бруска. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 2).

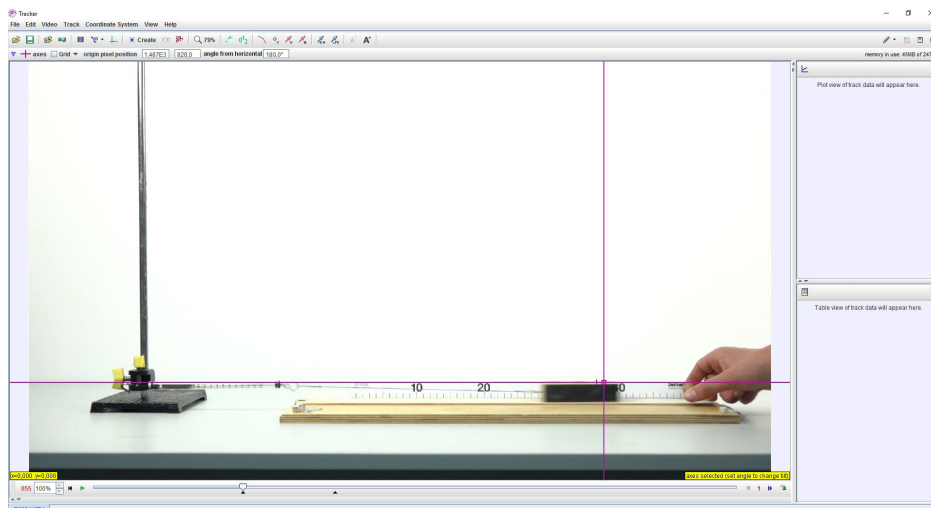


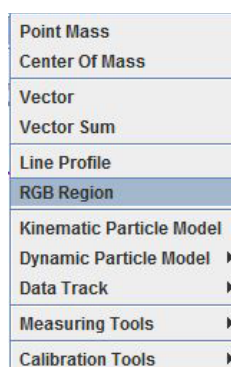


Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create alibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
15. У програмі буде відстежуватися рух точки на поверхні бруска. Для відстежування руху точки оберіть у верхньому меню кнопку Create і в меню – RGB region. Ця функція буде відстежувати невелику ділянку екрана з однаковим розподілом кольору. Її використання виправдане в разі якісного відеозапису і має на меті точне визначення положення тіла на багатьох кадрах.



16. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
17. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на бруску, за якою ви буде стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться колоподібний маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.

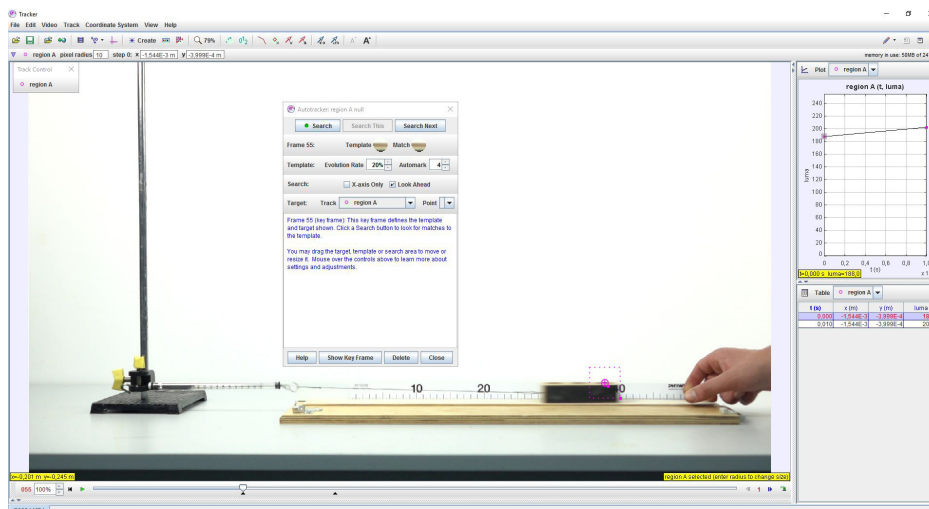
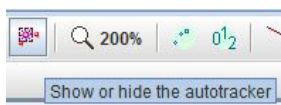


Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker при виборі автотрекінгу

18. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши

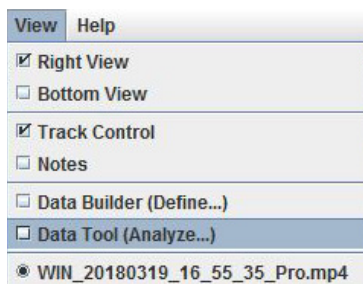


кнопку

19. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу (рис. 3).
20. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися RGB регіон, який позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'явиться пунктирна рамка. Рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме наявність регіону. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.
21. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головними є контрастність зображення тіла щодо заднього фону та рівномірність забарвлення обраного регіону на всіх кадрах. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
22. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних. Поблизу вертикальної осі графіка оберіть x. Якщо вісь координат Oх обрана горизонтально, то графік матиме вигляд параболи.

### Частина 3. Аналіз даних

23. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



24. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 4).

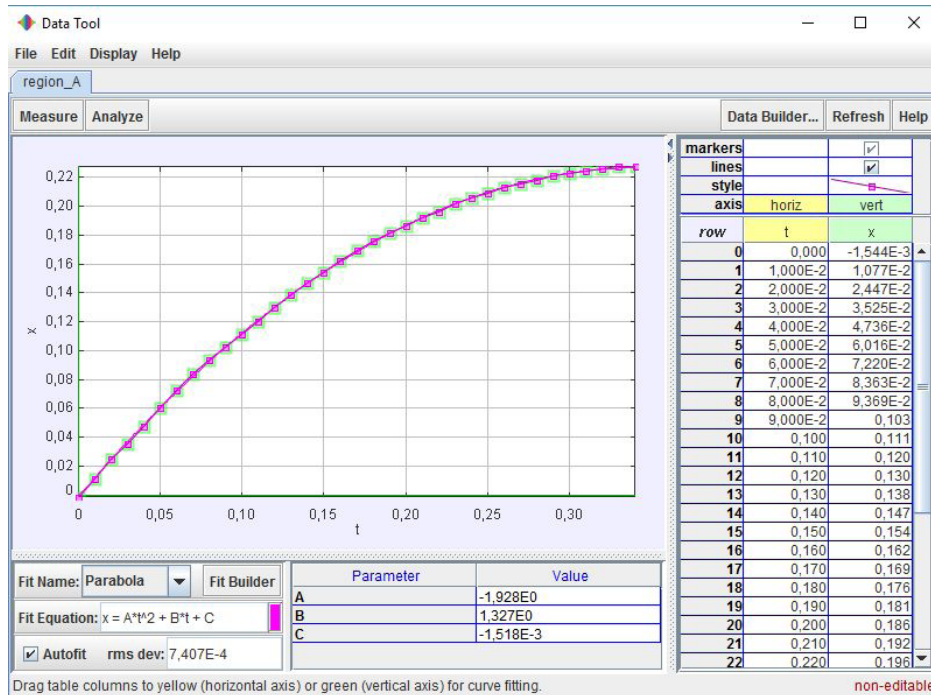


Рис. 4. Вигляд вікна Data Tool після накладання параболу

25. Оскільки графік  $x(t)$  є частиною параболу, то рух, який він описує, буде рівноприскореним. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд квадратичної функції  $x(t) = at^2/2 + v_0t + x_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = a/2$ , а  $B = v_0$ . Звідси прискорення  $a = 2A$ . Для визначення прискорення руху тіла необхідно знайти коефіцієнт  $A$  і помножити його на 2. Для визначення коефіцієнтів накладемо на графік параболу.
26. Оберіть вкладку *Analyse* → *Curve Fits* та в нижній частині вікна *Fit Name* → *Parabola*. Поверх графіка руху з'явилася параболу, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису *Autofit* обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення параболу.
27. Розрахуйте прискорення руху тіла за коефіцієнтом  $A$ . Запис значення коефіцієнта здійснюється у стандартному вигляді. Знак біля коефіцієнта зумовлений напрямком осі. Для подальших розрахунків важливий тільки його модуль. Запишіть значення прискорення до таблиці.
28. Щоб отримати дані для інших мас, здійсніть усі попередні кроки для інших записів. Усі дані записуйте до таблиці.
29. За формулою (2) розрахуйте коефіцієнт сухого тертя для кожного випадку. Усі дані записуйте до таблиці.
30. Розрахуйте середнє значення коефіцієнта сухого тертя і сформулюйте висновок до роботи.

#### Таблиця результатів

№	Прискорення руху системи, $a, (м/с^2)$	Коефіцієнт тертя, $\mu$	Середнє значення коефіцієнта тертя, $\mu_{cp}$
1			
2			
3			
4			
5			

## Лабораторна робота № 12. Дослідження пружних і непружних зіткнень

**Мета роботи:** визначити швидкості руху тіл до та після зіткнення за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів, перевірити виконання закону збереження імпульсу в кожному випадку; розрахувати зміну внутрішньої енергії системи при непружному зіткненні.

### Завдання роботи:

1. Створити відеозаписи шести експериментів із рухомими візками на динамічній лаві за різних випадків зіткнень та різного співвідношення їхніх мас.
2. Визначити швидкості руху візків у кожному експерименті в кожному випадку.
3. Розрахувати імпульси кареток у кожному випадку і перевірити закон збереження імпульсу для замкнутої системи.
4. Розрахувати відношення механічної енергії системи до і після непружного зіткнення і порівняти отримане значення з теоретичним.

**Обладнання:** динамічна лава, легкорухомі візки, вантаж відомої маси, лінійка, терези, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

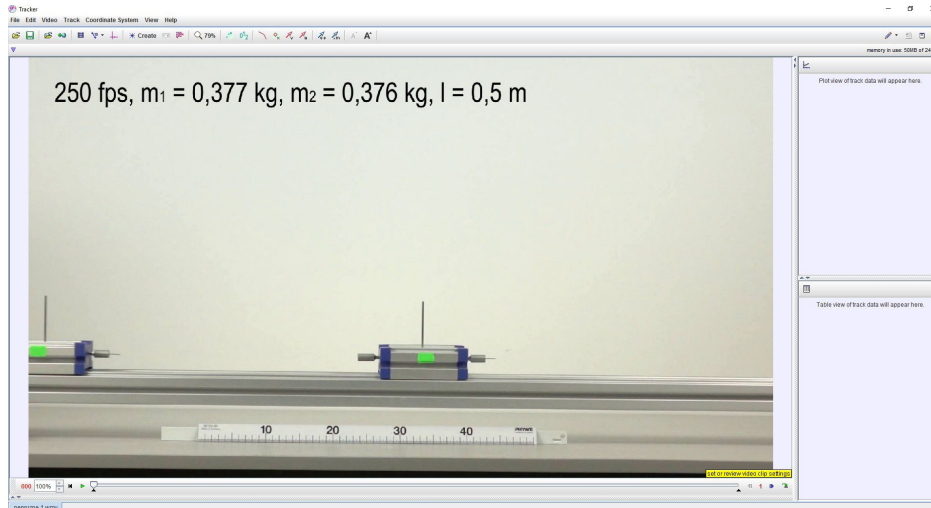


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення швидкості руху візків на динамічній лаві до та після їх зіткнення (рис. 1).

Динамічна лава створює умови, за яких систему, що складається з рухомих візків, можна вважати наближеною до замкнутої. У такому разі має виконуватися закон збереження імпульсу. Визначивши швидкості руху візків, також можна встановити втрату механічної енергії системи при переході її у внутрішню енергію.

Розглянемо випадок непружного зіткнення візків за умови, що на початку рухається тільки перший візок. При непружному зіткненні у проекціях на горизонтальну вісь координат закон збереження імпульсу матиме вигляд:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2 , \quad (1)$$

де  $m_1$  та  $m_2$  – маси візків;  $v_1$  – модуль швидкості першого візка до зіткнення;  $v_2$  – модуль швидкості візків після зіткнення.

Визначивши швидкості візків та знаючи їхню масу, можна розрахувати початковий і кінцевий імпульси системи та порівняти їх. Застосувавши закон збереження імпульсу і закон збереження енергії, можна розрахувати теоретичне значення відношення початкової механічної енергії системи до її кінцевого значення. Це відношення має вигляд:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1 + m_2}{m_1}. \quad (2)$$

Визначивши на експерименті модулі швидкостей руху візків, можна розрахувати експериментальне відношення цих енергій і порівняти його з теоретичним. Експериментальне відношення розраховується за формулою:

$$\frac{W_{1 \text{ екс}}}{W_{2 \text{ екс}}} = \frac{m_1 v_1^2}{(m_1 + m_2) v_2^2}. \quad (3)$$

У випадку пружного зіткнення візків за умови, що на початку рухається тільки перший візок, запис закону збереження імпульсу в проекції на горизонтальну координатну вісь залежить від співвідношення мас візків. Якщо маса першого візка більша, рівняння має вигляд:

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2', \quad (4)$$

де  $v_1'$  та  $v_2'$  – швидкості візків після зіткнення.

Якщо маса першого візка менша, рівняння має вигляд:

$$m_1 v_1 = -m_1 v_1' + m_2 v_2'. \quad (5)$$

Використовуючи виміряні значення швидкостей і мас, можна порівняти початковий та кінцевий імпульс системи. У роботі пропонується розглянути по три випадки непружного та пружного зіткнення візків, а також розрахувати відповідні величини.

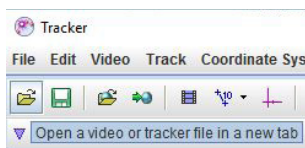
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть горизонтально динамічну лаву, намагаючись досягти того, щоб візки, розміщені на ній, не рухалися. Закріпіть у площині зйомки лінійку з добре помітними поділками.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Установіть на візки пристрої для забезпечення непружного удару. Визначте за допомогою терезів масу кожного візка. Значення запишіть до таблиці 1.
5. Розташуйте один візок посередині лави, а інший – біля пускового механізму.
6. Розпочніть запис відео та здійсніть пуск першого візка.
7. Зробіть ще два записи, довантажуючи візки.
8. Установіть на візки пристрої для забезпечення пружного удару. Визначте за допомогою терезів масу кожного візка. Значення запишіть до табл. 1.
9. Здійсніть відеозаписи трьох експериментів, змінюючи масу візків.
10. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

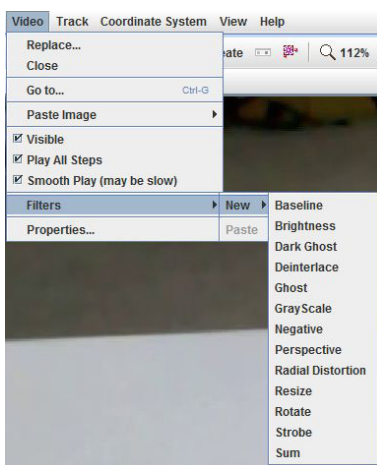
## Частина 2. Опрацювання відео

11. Завантажте відео для випадку непружного зіткнення у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.






Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

12. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
13. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



14. Установіть номер кадру, з якого буде відстежуватися рух першого візка, і зручний номер кадру для визначення швидкості руху візка після зіткнення. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



15. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового і кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) та частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
16. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з характерною точкою на візку. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 2).

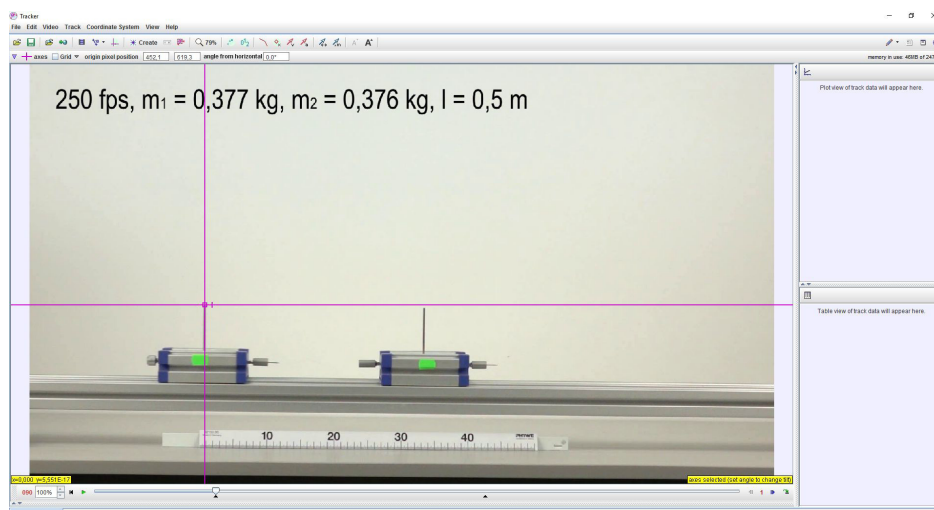


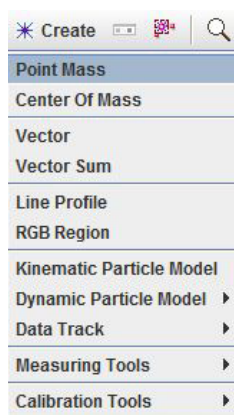
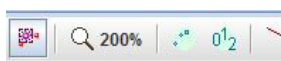


Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

17. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
18. У програмі буде відстежуватися рух двох точок: одна з них суміщена з першим візком, друга – з другим. Для відстежування руху першої точки оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



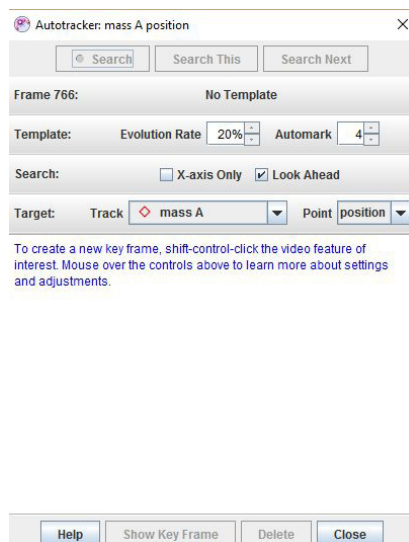
19. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
20. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на візку, за якою ви буде стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.
21. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

Show or hide the autotracker.

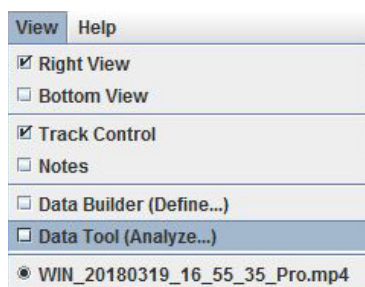
22. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



23. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло та пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме його наявність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому і наступному кадри. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.
24. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
25. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбудуватиметься аналіз отриманих даних.
26. Для відстежування руху другої точки на другому візку знову оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.
27. У вікні Track Control з'явиться ще один надпис mass B.
28. Поверніться на перший кадр і повторіть відстежування помітки на другому візку до останнього кадру.

### Частина 3. Аналіз даних

29. Для визначення швидкості руху першого візка в полі графіка вікна програми оберіть вкладинку mass A, а біля вертикальної осі координат – x.
30. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).





31. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 3).

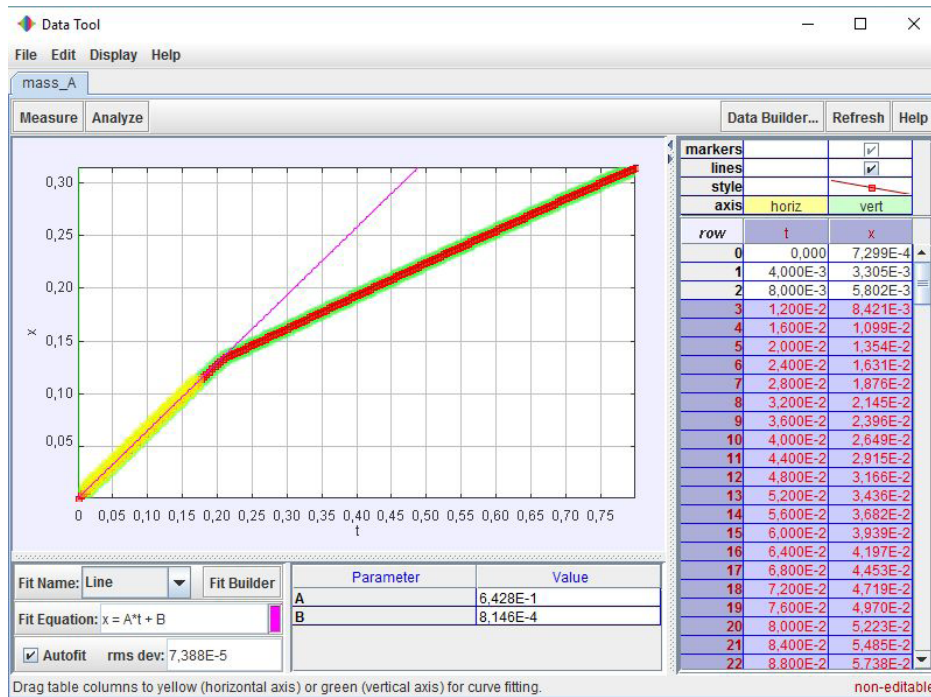


Рис. 3. Вигляд вікна Data Tool після накладання прямої

32. Оскільки графік  $x(t)$  є ламаною, що складається з двох відрізків, то рух першого візка вздовж осі  $Ox$ , який він описує, буде рівномірним на окремих ділянках, але з різною швидкістю. Рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд лінійної функції  $x(t) = v_x t + x_0$ . У загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax + B$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = v_x$ . Отже, швидкість руху візка до зіткнення в горизонтальному напрямку дорівнює коефіцієнту  $A$ . Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік пряму.
33. Виділіть на графіку ділянку, що відповідає руху до зіткнення. Оберіть вкладинку Analyse  $\rightarrow$  Curve Fits та в нижній частині вікна – Fit Name  $\rightarrow$  Line. Поверх графіка руху з'явилася пряма, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення прямої. Визначте швидкість візка до зіткнення.
34. Виділіть курсором другу частину графіка. Вписана пряма змінить своє положення. Визначте за коефіцієнтом швидкість візка після зіткнення. Отримані значення швидкостей запишіть до табл. 1.
35. Закрийте вікно Data Tool та у вікні графіка оберіть mass B. Біля вертикальної осі оберіть координату  $x$ .
36. Відкрийте вікно Data Tool. Проведіть накладання прямої на графік та визначте його швидкості до і після зіткнення. Запишіть значення до табл. 1.
37. По черзі завантажуючи два інших відео, повторіть усі попередні кроки для трьох випадків непружного зіткнення візків.
38. Розрахуйте імпульс системи до та після зіткнення, використовуючи рівняння (1). Запишіть значення до табл. 1 та порівняйте їх.
39. Розрахуйте теоретичне та експериментальне значення відношення кінетичних енергій системи до та після зіткнень за виразами (2) і (3). Запишіть значення до табл. 2 і порівняйте їх.
40. Завантажте по черзі відеозаписи пружних зіткнень та визначте швидкості руху візків у кожному випадку. Запишіть значення до табл. 1.
41. Враховуючи співвідношення мас візків, використовуючи рівняння (4) і (5), розрахуйте імпульс системи до та після зіткнення. Значення запишіть до табл. 1.
42. Порівняйте значення імпульсів і сформулюйте висновок до роботи.

## Таблиці результатів

Таблиця 1

№	Вид зіткнення	Маса першого візка, $m_1$ (кг)	Маса другого візка, $m_2$ (кг)	Швидкість руху першого візка до зіткнення, $v_1$ (м/с)	Швидкість руху першого візка після зіткнення, $v'_1$ (м/с)	Швидкість руху другого візка після зіткнення, $v'_2$ (м/с)	Імпульс системи до зіткнення, $p$ (кг·м/с)	Імпульс системи після зіткнення, $p$ (кг·м/с)
1	Непружне							
2	Непружне							
3	Непружне							
4	Пружне							
5	Пружне							
6	Пружне							

Таблиця 2

№	Вид зіткнення	Відношення кінетичних енергій системи теоретичне, $\frac{W_1}{W_2}$	Відношення кінетичних енергій системи експериментальне, $\frac{W_1}{W_2}$
1	Непружне		
2	Непружне		
3	Непружне		

## Лабораторна робота № 13. Дослідження коливань нитяного маятника

**Мета роботи:** визначити циклічну частоту коливань нитяного маятника за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів і розрахувати значення прискорення вільного падіння.

### Завдання роботи:

1. Створити відеозаписи кількох експериментів із нитяним маятником за різної довжини нитки.
2. Визначити циклічну частоту коливань маятника для кожної довжини нитки.
3. Розрахувати значення прискорення вільного падіння.

**Обладнання:** штатив, вантаж, лінійка, нитка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

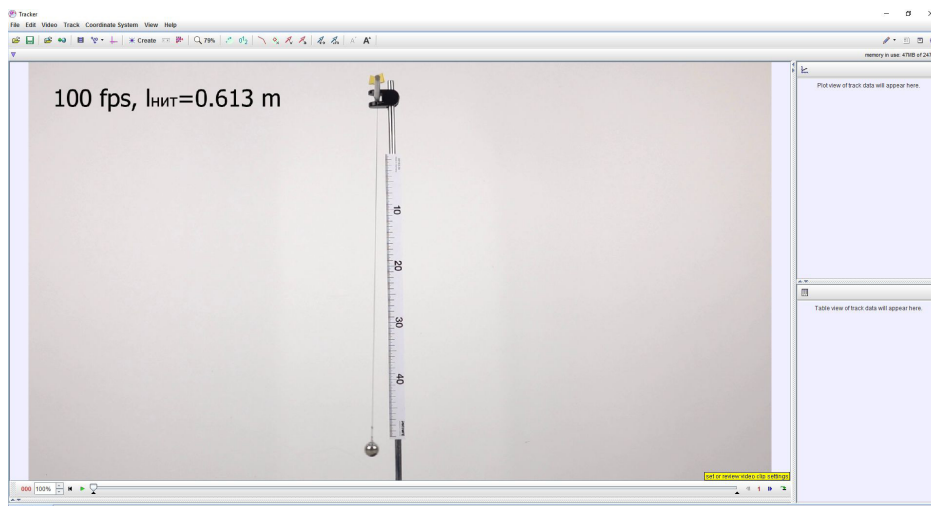


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення циклічної частоти коливань нитяного маятника (рис. 1).

Щоб визначити циклічну частоту коливань, необхідно отримати рівняння руху маятника. Математична модель, що наближено описує рух нитяного маятника, – це математичний маятник. Для цієї моделі рівняння зміни координати має вигляд:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

або 
$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (2)$$

де  $A$  – амплітуда коливань;  $\omega$  – циклічна частота коливань;  $\varphi_0$  – початкова фаза коливань.

Рух, підпорядкований таким законам, називають гармонічними коливаннями. Для математичного маятника циклічна частота коливань дорівнює:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad (3),$$

де  $l$  – відстань від точки підвісу до центра мас вантажу.

Із цього виразу випливає, що прискорення вільного падіння дорівнює:

$$g = \omega^2 l, \quad (4)$$

Останній вираз і буде використовуватися для розрахунків.

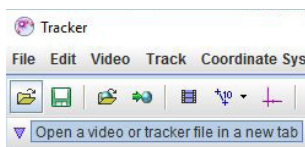
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі штатив. Закріпіть у площині зйомки лінійку з добре помітними поділками. Закріпіть на горизонтальній планці штатива нитяний маятник. Виміряйте відстань від точки підвісу до центра вантажу та запишіть її значення до таблиці.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Відхиліть вантаж на невеликий кут (не більше  $10^\circ$ ) і вільно відпустіть його.
5. Розпочніть запис відео.
6. Зробіть ще два записи за різних довжин нитки.
7. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

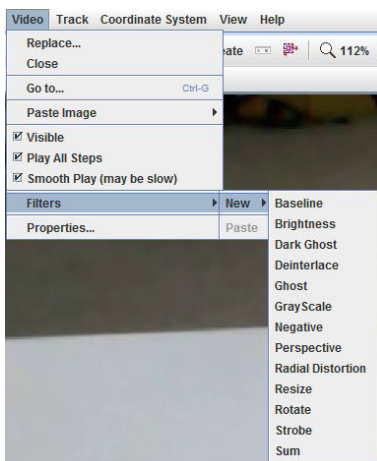
#### Частина 2. Опрацювання відео

8. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.

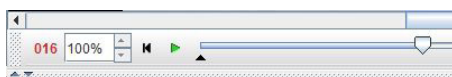





Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

9. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
10. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



11. Установіть номер кадру, з якого буде відстежуватися рух вантажу, наприклад, коли він проходить найнижче положення. Установіть номер кадру, на якому вантаж завершить 2–3 коливання. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
13. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з найнижчою точкою руху вантажу. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 2).

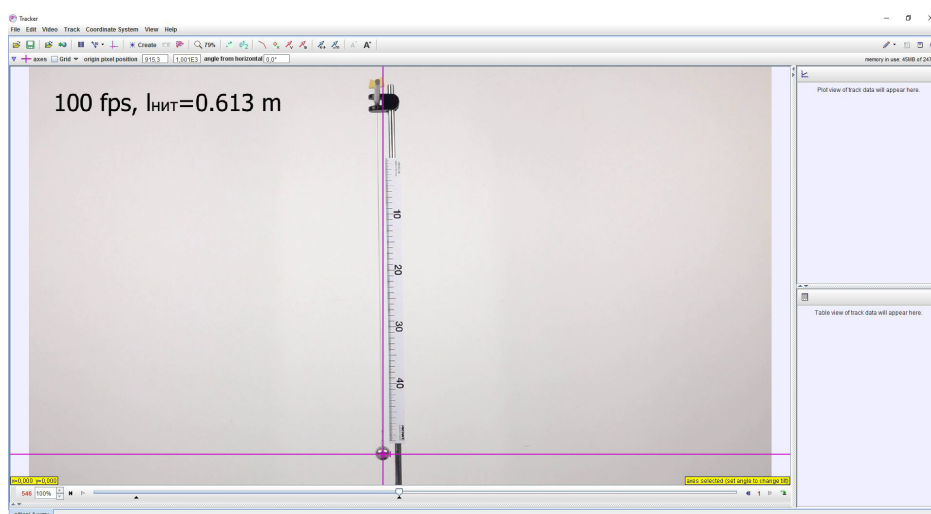


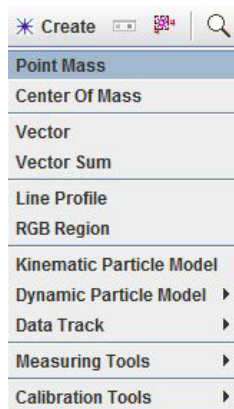
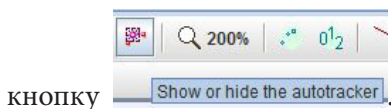


Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

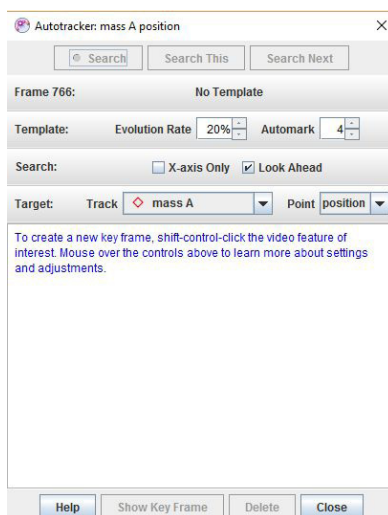
14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятовує його положення та довжину.
15. Для відстежування руху вантажу оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



16. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
17. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на вантажі, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.
18. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



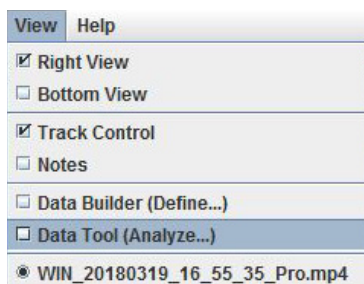
19. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



20. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло та пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме його наявність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому і наступному кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.
21. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
22. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбудуватиметься аналіз отриманих даних.

### Частина 3. Аналіз даних

23. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



24. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 3).

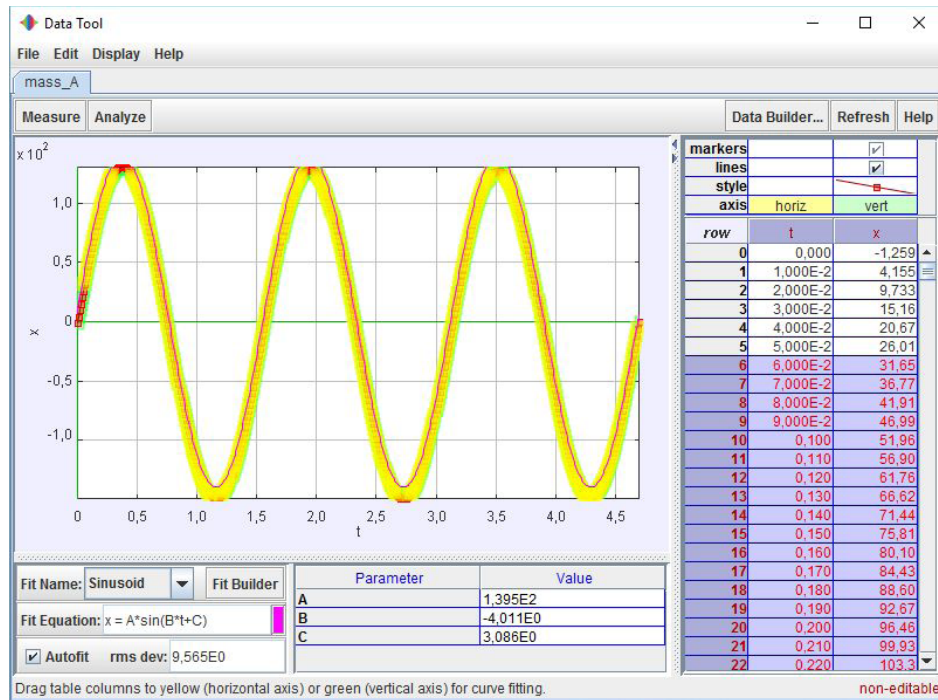


Рис.3. Вигляд вікна Data Tool після накладання синусоїди

25. Оскільки графік  $x(t)$  є синусоїдою, рівняння руху тіла в такому випадку матиме вигляд  $x(t) = A \sin(Bt+C)$ . Бачимо, що коефіцієнт  $B = \omega$ . Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік синусоїду.
26. Оберіть вкладки Analyze → Curve Fits та в нижній частині вікна – Fit Name → Sinusoid. Виділіть курсором максимальну кількість точок графіка. Поверх графіка руху з'явилася синусоїда, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення синусоїди. Визначте циклічну частоту коливань. Запишіть значення до таблиці.
27. Розрахуйте значення прискорення вільного падіння, використовуючи вираз (4). Запишіть значення до таблиці.
28. Завантажте по черзі інші відеозаписи та повторіть попередні кроки. Запишіть значення до таблиці.
29. Розрахуйте середнє значення прискорення вільного падіння і сформулюйте висновок до роботи.

### Таблиця результатів

№	Відстань від точки підвісу до центра мас вантажу, $l$ (м)	Циклічна частота коливань, $\omega$ ( $c^{-1}$ )	Прискорення вільного падіння, $g$ ( $м/с^2$ )	Середнє значення прискорення вільного падіння, $g_c$ ( $м/с^2$ )
1				
2				
3				

## Лабораторна робота № 14. Дослідження коливань пружинного маятника

**Мета роботи:** визначити період коливань пружинного маятника за допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів і розрахувати жорсткість пружини.

### Завдання роботи:

1. Створити відеозаписи кількох експериментів із пружинним маятником за різних мас вантажу.
2. Визначити період коливань маятника для кожного вантажу.
3. Розрахувати жорсткість пружини маятника.

**Обладнання:** штатив, набірний вантаж, лінійка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

### Загальні відомості

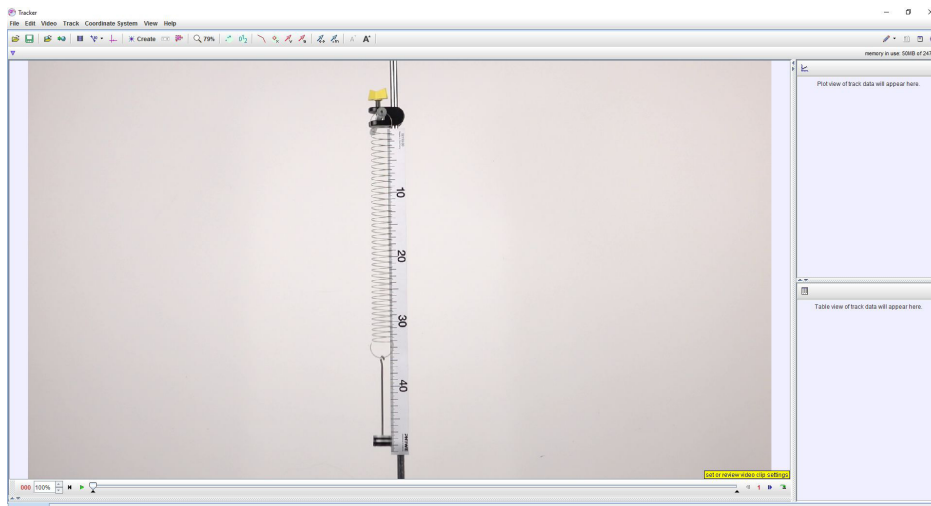


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для визначення періоду коливань пружинного маятника (рис. 1).

Щоб визначити період коливань пружинного маятника, потрібно отримати графік зміни координати вантажу, приєднаного до пружини. За графіком легко визначити час повного коливання, тобто період. Період коливання пов'язаний із масою вантажу і жорсткістю пружини виразом:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1)$$

Звідси впливає вираз для розрахунку жорсткості пружини:

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}. \quad (2)$$



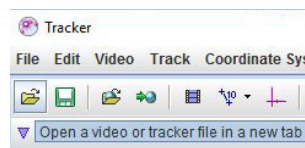
## Хід роботи

### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі штатив. Закріпіть у площині зйомки лінійку з добре помітними поділками. Закріпіть на горизонтальній планці штатива пружинний маятник. Запишіть до таблиці масу приєднаного вантажу.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розтягніть пружину і вільно відпустіть її.
5. Розпочніть запис відео.
6. Зробіть ще два записи за різних мас вантажу.
7. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

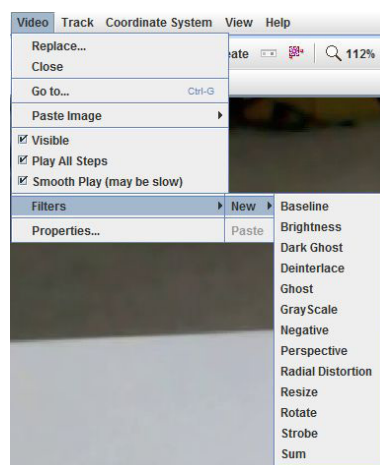
### Частина 2. Опрацювання відео

8. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.

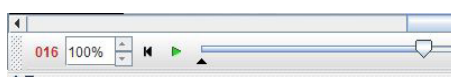





Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

9. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
10. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



11. Установіть номер кадру, з якого буде відстежуватися рух вантажу, наприклад, коли він проходить найнижче положення. Установіть номер кадру, на якому вантаж завершить 2–3 коливання. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
13. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з серединою траєкторії руху вантажу. Поверніть осі координат на  $90^\circ$ . Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 2).

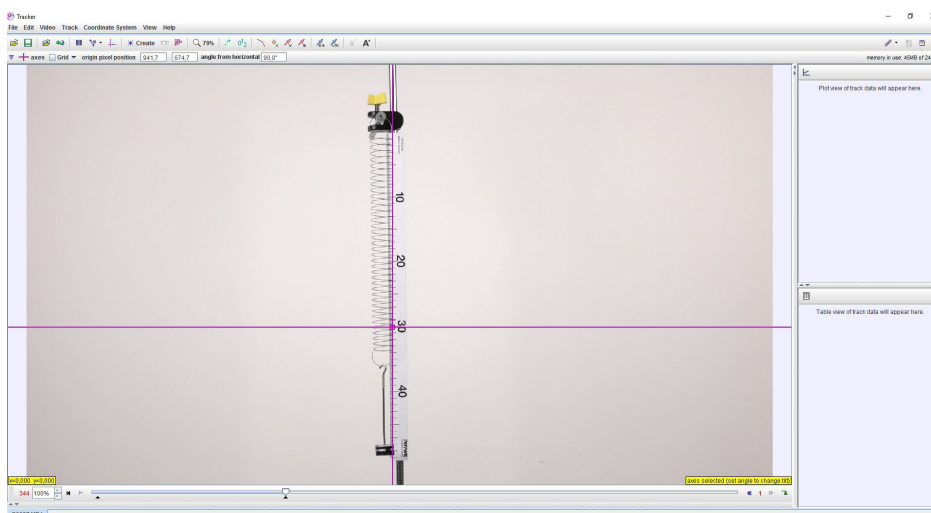


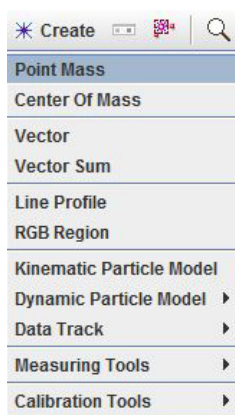


Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
15. Для відстежування руху вантажу оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



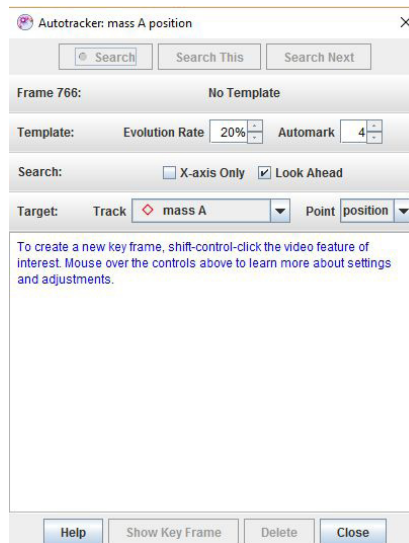
16. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
17. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на вантажі, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.

18. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

19. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



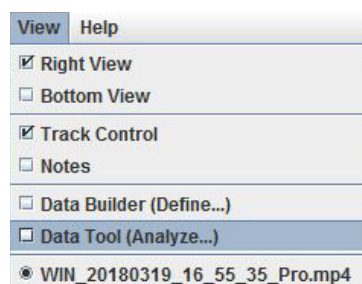
20. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло та пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме його наявність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому і наступному кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.

21. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.

22. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.

### Частина 3. Аналіз даних

23. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



24. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 3).

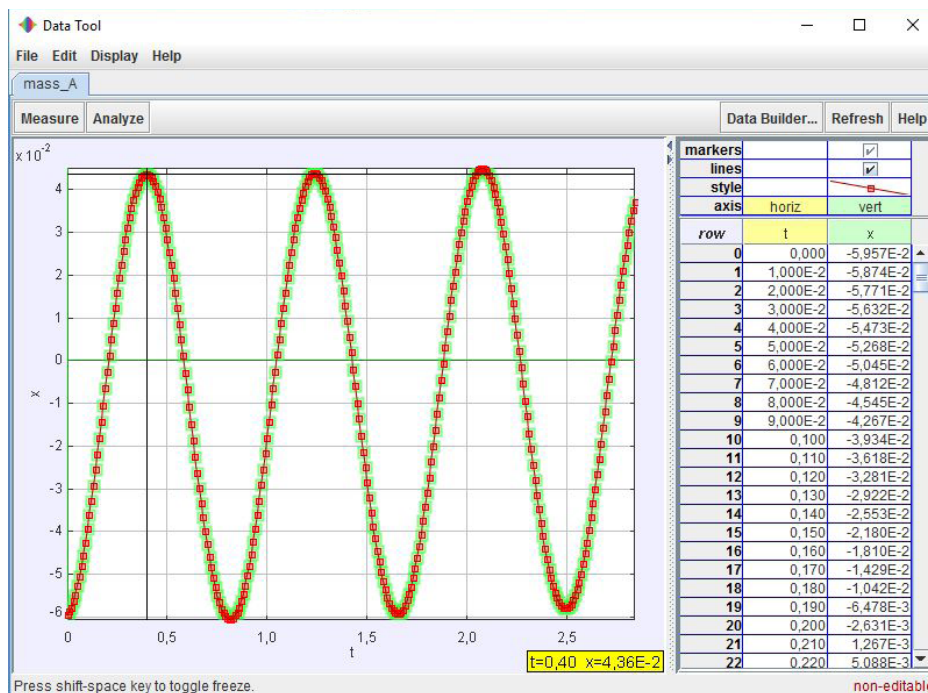


Рис.3. Вигляд вікна Data Tool після вибору функції вимірювання

25. Оберіть вкладки Measure → Coordinates. Установіть курсор над першим максимумом і зчитайте час. Перемістіть курсор на інший максимум (2–3) і теж зчитайте час. Розрахуйте період, розділивши інтервал на кількість повних коливань. Запишіть значення до таблиці.
26. Розрахуйте значення жорсткості пружини, використовуючи вираз (2). Запишіть значення до таблиці.
27. Завантажте по черзі інші відеозаписи та повторіть попередні кроки. Запишіть значення до таблиці.
28. Розрахуйте середнє значення жорсткості і сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

№	Маса вантажу, $m$ (кг)	Період коливань, $T$ (с)	Жорсткість пружини, $k$ (Н/м)	Середнє значення жорсткості пружини, $k_c$ (Н/м)
1				
2				
3				

## Лабораторна робота № 15. Дослідження коливань фізичного маятника

**Мета роботи:** побудувати графічну залежність періоду коливань фізичного маятника від відстані між центром мас і точкою підвісу, визначити мінімальне значення періоду коливань та порівняти його з теоретично розрахованим.

### Завдання роботи:

1. Розрахувати теоретичне значення відстані від центра мас маятника до точки підвісу, що відповідає найменшому періоду коливань.
2. Створити відеозаписи 5–6 експериментів із фізичним маятником за відстаней, що перебувають в околі теоретично розрахованої відстані.
3. Визначити період коливань маятника для кожного випадку, використовуючи програмне забезпечення для відеоаналізу.
4. Побудувати графічну залежність періоду коливань фізичного маятника від відстані між центром мас і точкою підвісу, знайти експериментальне значення відстані та порівняти його з теоретичним.

**Обладнання:** фізичний маятник на підвісі, лінійка, терези, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>), Excel.

### Загальні відомості



Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Фізичним маятником називається будь-яке тверде тіло, яке під дією сили тяжіння може вільно коливатися навколо нерухомої горизонтальної осі. У цій роботі згадане програмне забезпечення буде застосовуватися для визначення періоду коливання суцільного металевого стрижня, що має опорну призму, яку можна переміщувати (рис. 1). На стрижень нанесено шкалу. Переміщуючи призму вздовж стрижня, можна змінювати відстань від точки підвісу маятника до його центра мас (рис. 2). Вважаючи момент сил тертя малим, вважаємо, що рух маятника відбувається під впливом моменту сил земного тяжіння:

$$M = -mg \sin \varphi, \quad (1)$$

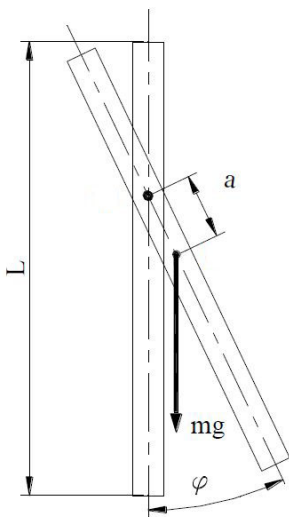


Рис. 2. Фізичний маятник

де  $a$  – відстань від точки підвісу до центра мас;  $\varphi$  – кут відхилення маятника від положення рівноваги. Застосовуючи основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла та теорему Штейнера, отримаємо основний вираз для періоду коливань маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_0}{mga} + \frac{a}{g}}, \quad (2)$$

де  $J_0$  – момент інерції стрижня відносно його центра мас.

Вочевидь, графік залежності періоду коливань від відстані  $a$  має екстремум. Теоретично період досягає мінімуму за:

$$a = \sqrt{\frac{J_0}{m}}, \quad (3)$$

Для однорідного стрижня:

$$J_0 = \frac{mL^2}{12}, \quad (4)$$

де  $L$  – довжина маятника.

Побудувавши в математичних таблицях Excel графічну залежність  $T(a)$ , можна визначити експериментальне значення відстані  $a$ , що відповідає мінімальному періоду коливань, а також порівняти його з теоретично розрахованим значенням. Отже, зміст експериментальної частини зводиться до отримання відеозаписів коливань маятника, визначення періоду його коливань за різних значень  $a$ , тобто для різних положень опорної призми.

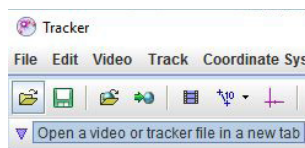
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі фізичний маятник на підвісі. Закріпіть у площині зйомки лінійку з добре помітними поділками.
2. Використовуючи формули (3) й (4) та дані про довжину і масу маятника, розрахуйте теоретичне значення відстані  $a_{теор}$ , що відповідає мінімальному періоду коливань маятника. Запишіть значення до таблиці.
3. Доберіть значення відстаней  $a$ , які будуть відрізнятися від теоретично розрахованої на 1–3 см. Запишіть ці значення до таблиці.
4. Установіть опорну призму на першій із обраних відстаней.
5. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
6. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
7. Штовхніть маятник і розпочніть запис відео.
8. Зробіть решту записів за обраних відстаней  $a$ .
9. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

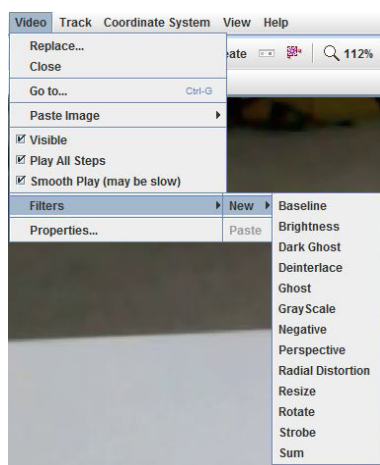
## Частина 2. Опрацювання відео

10. Завантажте перше відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.






Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

11. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
12. Якщо об'єкти пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



13. Установіть номер кадру, з якого буде відстежуватися рух маятника, наприклад початковий кадр. Установіть номер кадру, на якому маятник завершить 2–3 коливання. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
15. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з серединою траєкторії руху точки на маятнику, за якою буде вестися стеження. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис 3).

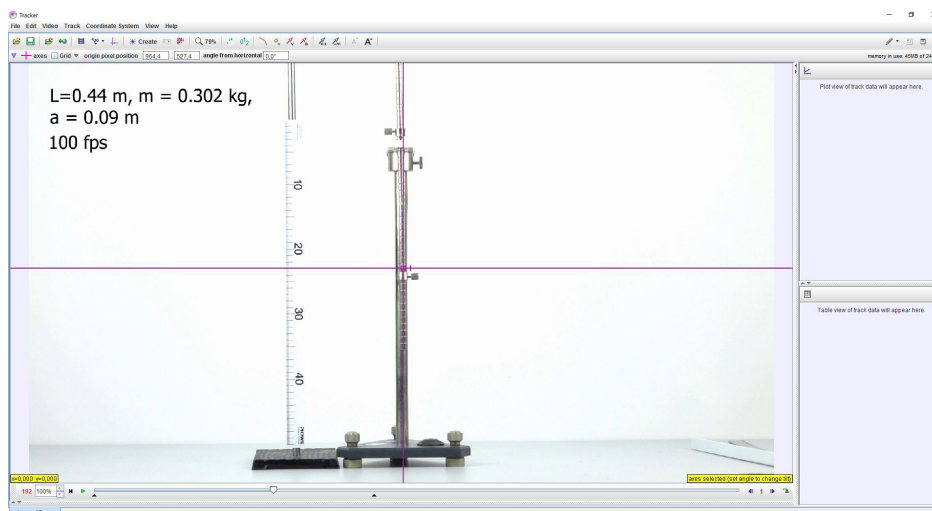


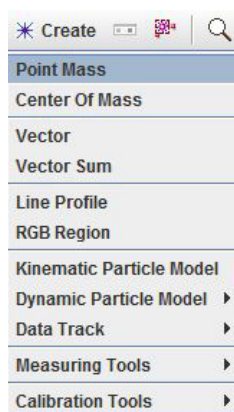
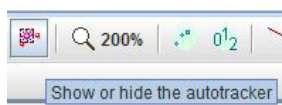


Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

16. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу і другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
17. Для відстежування руху вантажу оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



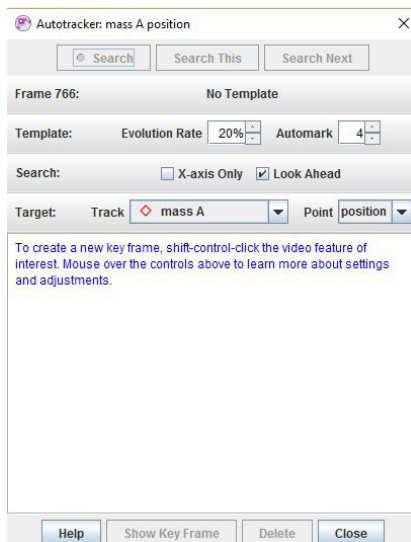
18. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
19. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою на маятнику, за якою ви будете стежити, і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.
20. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

21. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.

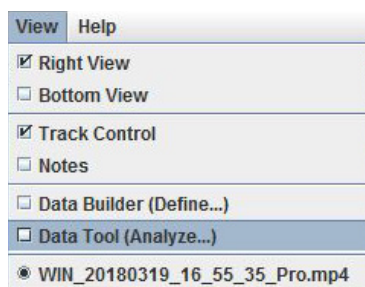




22. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло та пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме його наявність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому і наступному кадри. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.
23. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
24. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.

### Частина 3. Аналіз даних

25. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



26. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 4).

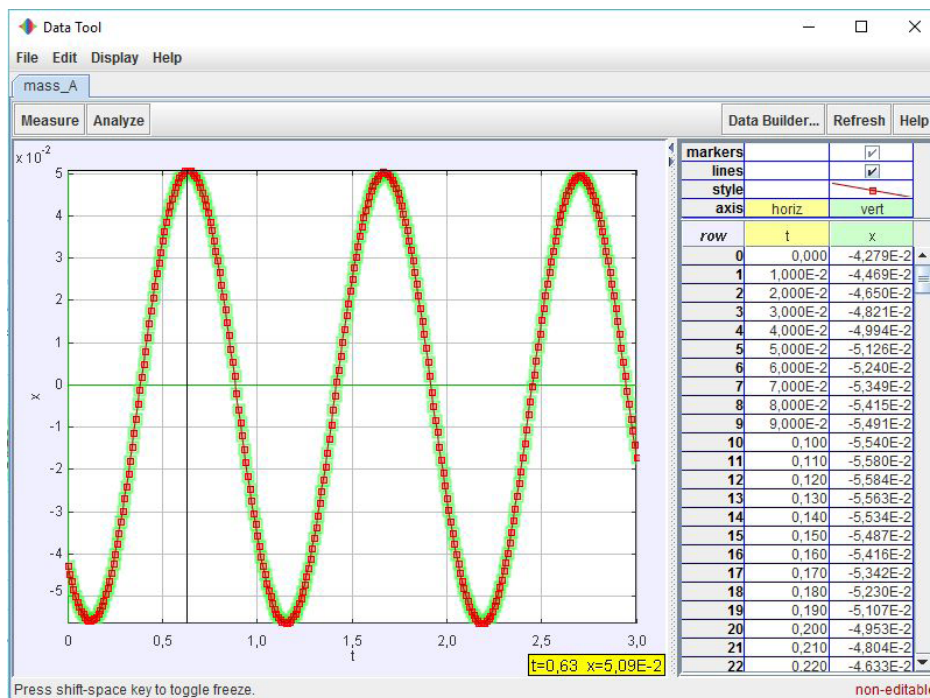


Рис.4. Вигляд вікна Data Tool після вибору функції вимірювання

27. Оберіть вкладку Measure → Coordinates. Установіть курсор над першим максимумом і зчитайте час. Перемістіть курсор на інший максимум (2–3) і теж зчитайте час. Розрахуйте період, розділивши інтервал на кількість повних коливань. Запишіть значення до таблиці.
28. Завантажте по черзі інші відеозаписи і повторіть попередні кроки. Запишіть значення до таблиці.
29. У математичних таблицях Excel побудуйте графік  $T(a)$ . Визначте значення  $a_{екс}$ , що відповідає мінімальному періоду коливань. Запишіть значення до таблиці.
30. Сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

№	Відстань від центра мас до точки підвісу, $a$ (м)	Період коливань, $T$ (с)	Теоретичне значення відстані від центра мас до підвісу, що відповідає мінімальному періоду, $a_{теор}$ (м)	Експериментальне значення відстані від центра мас до підвісу, що відповідає мінімальному періоду, $a_{екс}$ (м)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

## Лабораторна робота № 16.

### Вимірювання довжини звукової хвилі та швидкості звуку

**Мета роботи:** використовуючи можливості програмного забезпечення Tracker, визначити довжину звукової хвилі та швидкість поширення звуку в повітрі.

#### Завдання роботи:

1. Провести експерименти з установкою з вимірювання довжини звукової хвилі методом резонансу.
2. Визначити довжину звукової хвилі за допомогою інструментів програми.
3. Розрахувати швидкість поширення звуку в повітрі.

**Обладнання:** штатив, мірний циліндр об'ємом 500 мл, камертон (частота 440 Гц), шумомір, ємність із водою, силіконова трубка з затискачем, лінійка, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

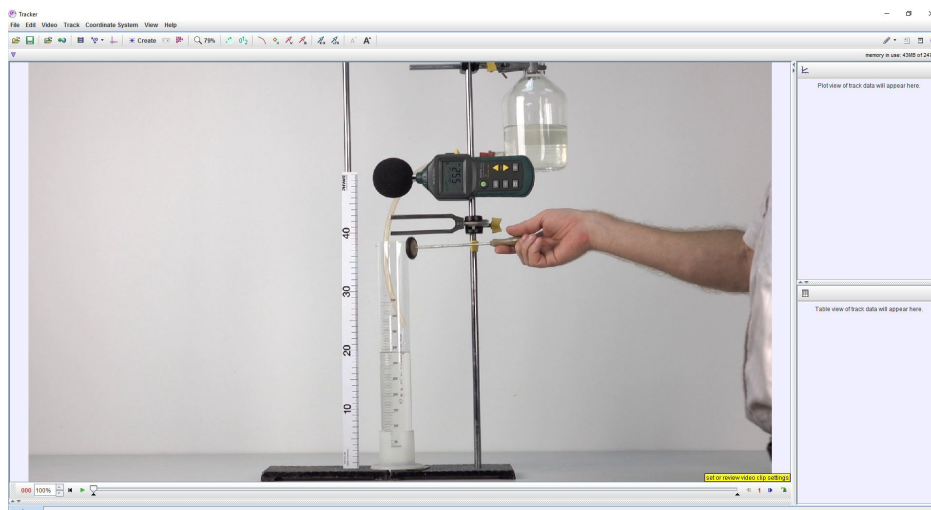


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

У цій роботі згадане програмне забезпечення застосовується для вимірювання довжини стовпа повітря у мірному циліндрі, за якої спостерігається різке підвищення гучності звуку, створеного камертоном (рис. 1). З умови виникнення стоячої хвилі у трубці із закритим кінцем впливає, що подібне явище спостерігається, коли виміряна довжина стовпа повітря дорівнюватиме:

$$x = \frac{(2n - 1)\lambda}{4}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина звукової хвилі;  $n$  – натуральне число.

У реальних умовах експерименту  $n = 1$ . Тобто:

$$\lambda = 4x. \quad (2)$$

Вимірявши довжину звукової хвилі і знаючи її частоту, можна розрахувати швидкість поширення звуку за виразом:

$$v = \lambda \nu, \quad (3)$$

де  $\nu$  – частота звукової хвилі (в нашому випадку 440 Гц).

Явище резонансу фіксується за показами шумоміра, встановленого біля відкритого краю мірного циліндра.

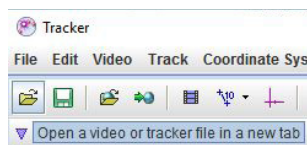
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису



1. Установіть штатив на поверхні столу і закріпіть у лапці штатива склянку Вульфа з трубкою та затискачем. Закріпіть у муфті штатива камертон, дібравши висоту встановлення так, щоб він був розташований над зрізом мірного циліндра. Закріпіть на штативі шумомір над камертоном. На основі штатива помістіть мірний циліндр. Заповніть склянку Вульфа водою. Закріпіть на штативі лінійку з добре видимими помітками.
2. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (25–30 кадрів на секунду).
3. Установіть пристрій так, щоб установка потрапляла у кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
4. Розпочніть запис відео. Відкрийте затискач на трубці. Періодично вдаряючи молоточком по камертону, дочекайтеся моменту, коли гучність звуку досягне максимуму і почне зменшуватися. Зробіть ще декілька записів, щоб можна було вибрати найкращий варіант. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Опрацювання відео

5. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

6. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
7. Зупиніть запис відео на моменті найбільшого показу шумоміра.
8. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину (рис. 2).

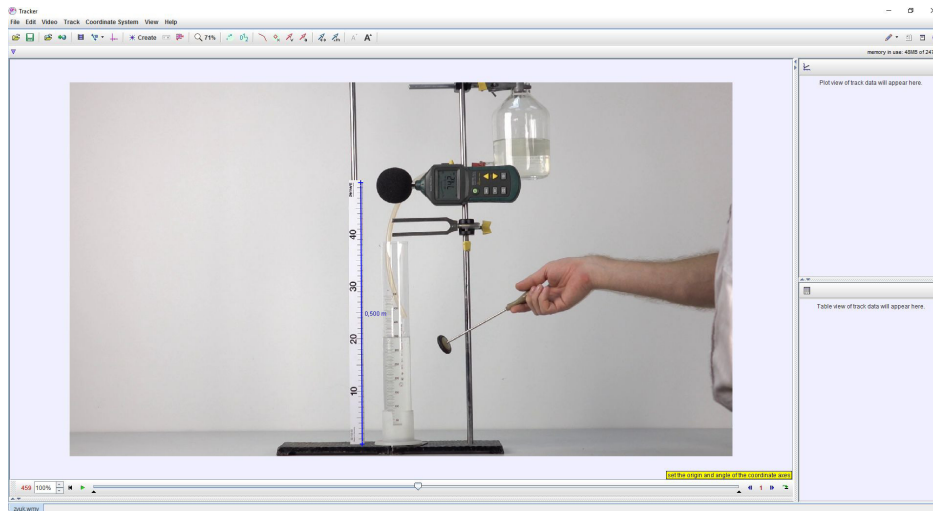


Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення одиничного відрізка

9. Для вимірювання довжини повітряного стовпа у верхньому меню програми оберіть Track → New → Measuring Tools → Tape Measure. На екрані з'явиться двонаправлений відрізок. Сумістіть перетяганням кінці цього відрізка з краєм мірного циліндра і зрізом води у ньому.
10. Числове значення відстані  $x$  запишіть до таблиці.
11. Повторіть попередні дії для інших записів.

### Частина 3. Аналіз даних

12. Розрахуйте середнє значення довжини повітряного стовпа і за цим значенням – довжину звукової хвилі за виразом (2). Розрахуйте значення швидкості звуку за виразом (3).
13. Зробіть висновок стосовно результатів експериментів.

### Таблиця результатів

№	Довжина повітряного стовпа, $x$ (м)	Середнє значення довжини повітряного стовпа, $x_{\text{сєр}}$ (м)	Довжина звукової хвилі, $\lambda$ (м)	Швидкість звуку, $v$ (м/с)
1				
...				
...				
...				

## Лабораторна робота № 17.

### Вивчення явища механічного резонансу

**Мета роботи:** побудувати графічну залежність амплітуди коливань краю плоскої металевої пластини від частоти вимушувальної сили, визначити резонансну частоту і порівняти її з власною частотою коливань пластини.

#### Завдання роботи:

1. Створити відеозаписи 10 експериментів із закріпленою посередині в муфті штатива сталеву пластину (лінійкою) за різного розміщення вантажів на пластині.
2. Визначити частоту коливань правого кінця пластини для кожного випадку і амплітуду коливань лівого кінця пластини, використовуючи програмне забезпечення для відеоаналізу.
3. Побудувати графічну залежність амплітуди коливань від частоти.
4. Визначити власну частоту коливань лівого кінця пластини і порівняти її з резонансною частотою коливань правого кінця.

**Обладнання:** штатив із муфтою, сталеві пластини (сталеві лінійки), лінійка, неодимові магніти, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>), Excel.

#### Загальні відомості

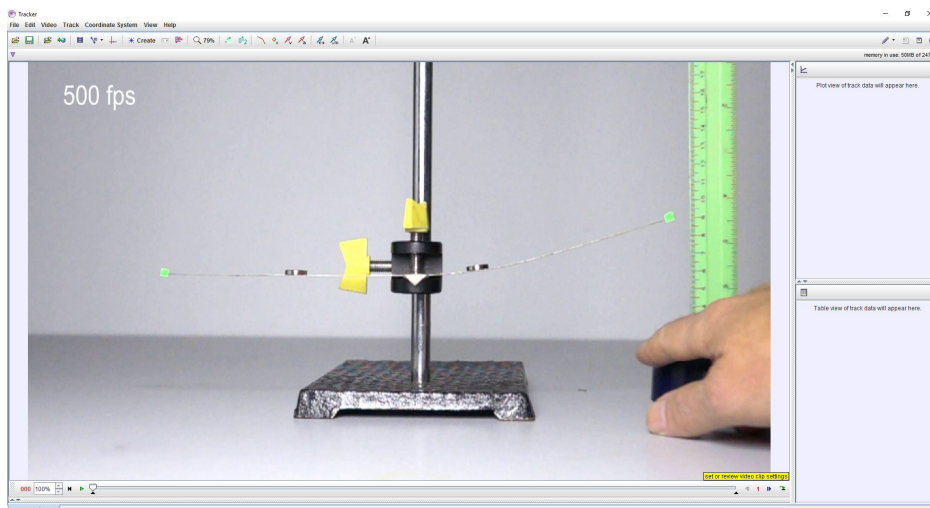


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Коливання, які здійснює матеріальна точка, якщо на неї, крім пружної сили і сил опору, діє додаткова зовнішня періодична сила, називаються змушеними. Прикладом може бути коливання одного кінця сталеві пластини, закріпленої посередині, під впливом поштовхів з боку іншого кінця (рис. 1). Змінна зовнішня сила, яка прикладена до системи і зумовлює змушені механічні коливання, називається вимушувальною силою. Рух цієї системи є досить складним і описується диференціальним рівнянням другого порядку. Наслідками розв'язку цього рівняння є існування певного часу встановлення змушених коливань, які будуть відбуватися з частотою вимушувальної сили. Амплітуда змушених коливань має максимум за циклічної частоти вимушувальної сили  $\omega$ , яка задовольняє співвідношення:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}, \quad (1)$$

де  $\omega_0$  – циклічна частота вільних коливань системи;  $\beta$  – коефіцієнт, що характеризує сили опору у системі.

Зростання амплітуди змущених коливань при наблизненні циклічної частоти вимушувальної сили до циклічної частоти вільних коливань системи називається явищем механічного резонансу. Відповідно частота  $\omega$  називається резонансною частотою, а графіки залежності амплітуди коливань від частоти, наведені на рис. 2, – резонансними кривими.

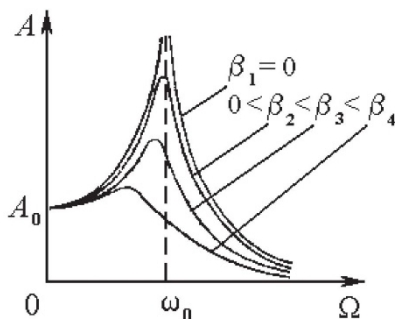


Рис. 2. Резонансні криві

Як досліджувана система в роботі використовується сталевая пластина, затиснута в муфті штатива. У місці кріплення пластини муфта має гумову прокладку, що спрощує передачу поштовхів від одного краю пластини до іншого. Дібравши положення пластини, за якого чітко спостерігається явище резонансу між її краями, пластину фіксують. До лівого (досліджуваного) краю приєднують неодимовий магніт, приблизно посередині пластини. Отже, частота коливань лівого краю змінюється. До правого краю пластини, який буде використовуватися як збудник коливань, теж приєднують такий самий магніт. Переміщуючи магніт на правому краї пластини і приводячи його щоразу в коливання, можна змінювати частоту вимушувальної сили. Спостереження за поведінкою лівого краю дає змогу визначити положення магніту на правому краї, за якого настане резонанс системи.

Для проведення спостережень необхідно мати можливість вимірювати частоту коливань правого краю пластини і амплітуду коливань лівого краю. Для цього використовуються можливості програмного забезпечення для аналізу відеозаписів. Під час створення відеозаписів також робиться один запис, у якому примушують колитися лівий край для визначення власної частоти коливань  $\omega_0$ . Побудувавши в математичних таблицях Excel графічну залежність  $A(\omega)$ , можна визначити експериментальне значення резонансної частоти  $\omega$  і порівняти його з власною частотою коливань лівого краю пластини.

## Хід роботи

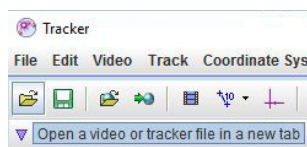
### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі штатив із муфтою. Виготовте невелику гумову прокладку. Помістіть у муфту сталеву пластину та, переміщуючи її, з'ясуйте положення, за якого спостерігається резонанс при коливанні її країв. Притисніть затискачем пластину і з яскравого матеріалу (стікера) зробіть два маленьких маркери на її краях. Закріпіть у площині зйомки біля правого краю лінійку з добре помітними поділками.
2. Установіть неодимові магніти: перший – посередині лівого краю пластини, а другий – на правому краї ближче до точки кріплення.
3. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте підвищену частоту зйомки відео (500–1000 кадрів на секунду).
4. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
5. Розпочніть запис відео.
6. Відхиліть правий край пластини до наперед обраної точки на лінійці і відпустіть його.
7. Зробіть решту записів, пересуваючи магніт вздовж правого краю і щоразу відхиляючи його на фіксовану відстань.

8. Зробіть відеозапис коливань, відхиливши і відпустивши лівий край пластини.
9. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

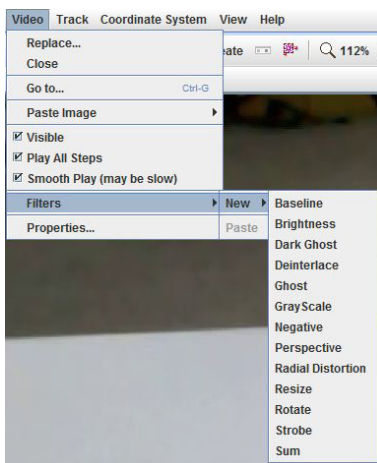
### Частина 2. Опрацювання відео

10. Завантажте перше відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.






Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

11. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
12. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



13. Установіть номер кадру, з якого буде відстежуватися рух правого краю. На кожному відео він має відповідати однаковому найбільшому відхиленню. Установіть номер кінцевого кадру, збільшивши його на 500. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
15. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідатиме ситуації. Наприклад, сумістіть її з точкою кріплення пластини. Поверніть осі координат на кут 90°. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 3).



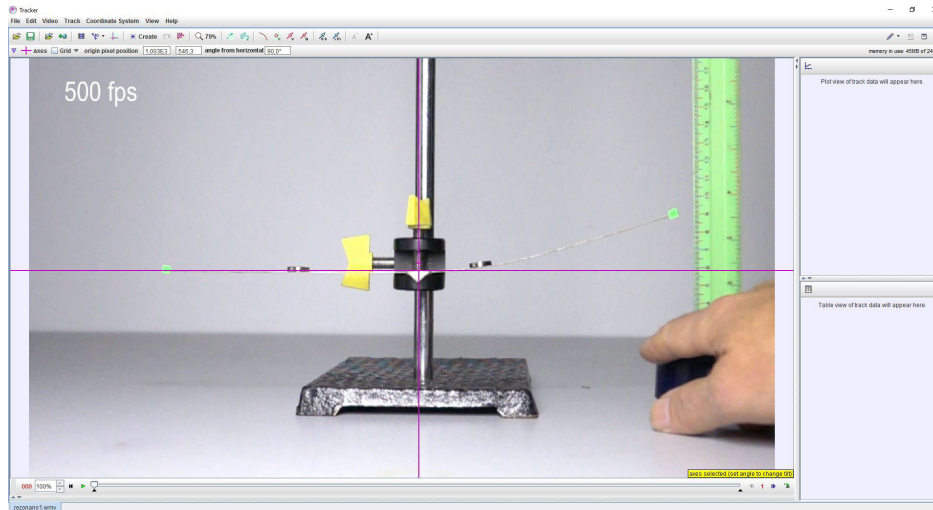


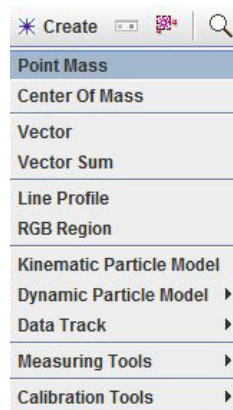
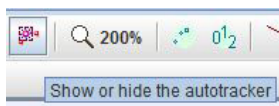


Рис. 3. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

16. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
17. Для відстежування руху правого краю оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.

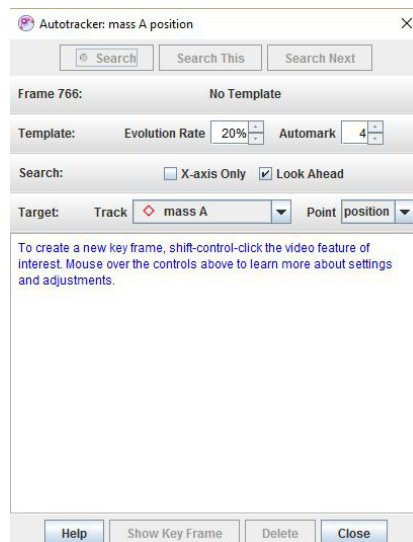


18. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
19. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з маркером на правому краї і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки і програма автоматично перейде на наступний кадр.
20. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

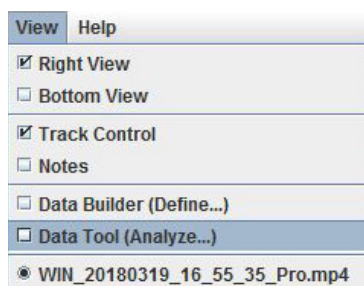
21. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



22. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло та пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме його наявність. Розмір кола і рамки можна змінювати. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому та наступному кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.
23. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
24. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.
25. Повторіть попередні кроки, починаючи від 18, для відстежування коливань лівого краю пластини.

### Частина 3. Аналіз даних

26. У вікні з графіком оберіть вкладинку mass A.
27. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



28. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 4).

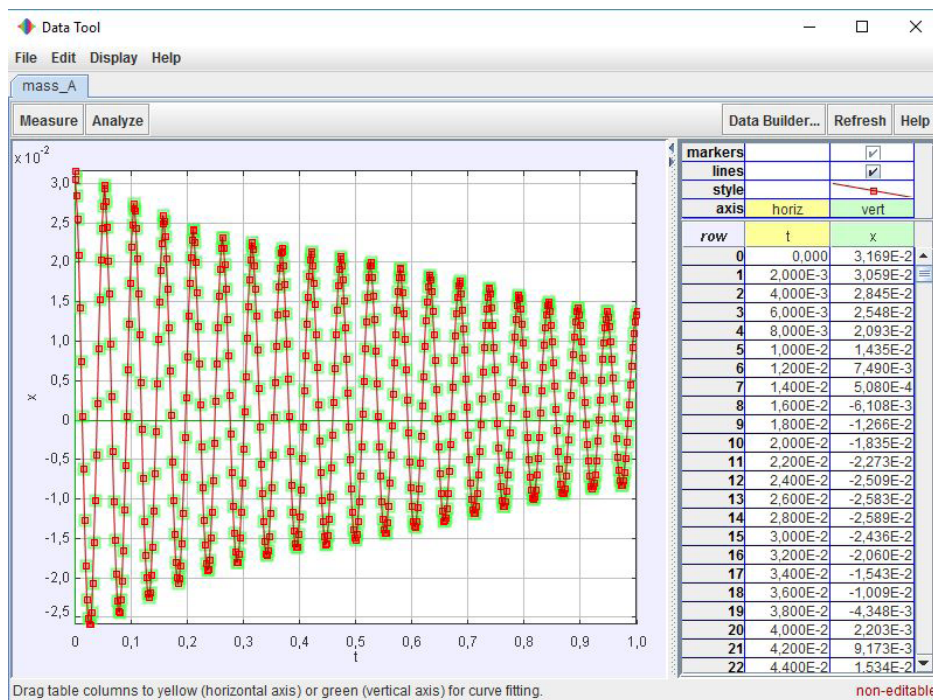


Рис.4. Вигляд вікна Data Tool

29. Оберіть курсором перший максимум і зчитайте час у таблиці праворуч. Оберіть курсором максимум, що відстоїть від першого на 10 коливань. Зчитайте час у таблиці. Розрахуйте період  $T$ , розділивши інтервал на кількість повних коливань. Запишіть значення до таблиці. Розрахуйте циклічну частоту коливань за виразом:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Результат запишіть до таблиці.

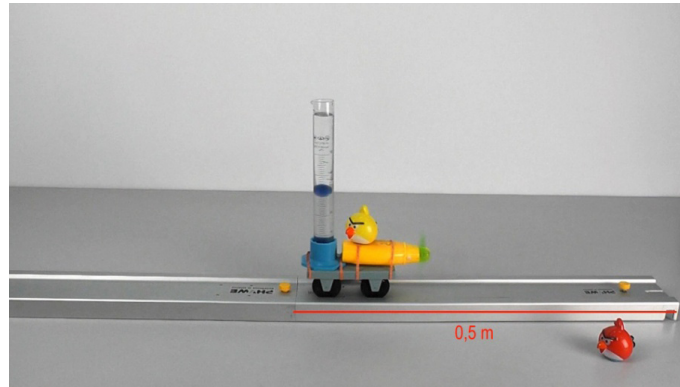
- 30. Закрийте вікно Data Tool.
- 31. У вікні графіка оберіть mass B. Відкрийте вікно Data Tool.
- 32. Оберіть Analyze → Statistics.
- 33. У таблиці зчитайте максимальне значення амплітуди коливань лівого краю  $A$  і запишіть його до таблиці.
- 34. Завантажте по черзі інші відеозаписи і повторіть попередні кроки. Запишіть значення до таблиці.
- 35. Завантажте відеозапис із коливанням лівого краю і визначте частоту його коливань, користуючись алгоритмом, зазначеним у п. 8. Результат запишіть до таблиці.
- 36. У математичних таблицях Excel побудуйте графік  $A(\omega)$ . Визначте значення  $\omega$ , що відповідає резонансу, та порівняйте його з частотою  $\omega_0$ .
- 37. Сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

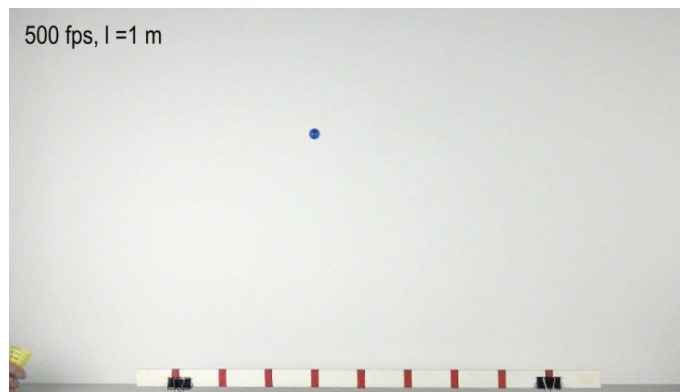
№	Період коливань, $T$ (с)	Циклічна частота коливань, $\omega$ (Гц)	Амплітуда коливань, $A$ (мм)	Резонансна частота, $\omega$ (Гц)	Власна частота, $\omega_0$ (Гц)
1					
...					
...					
...					
10					

## Відеозадачі з механіки

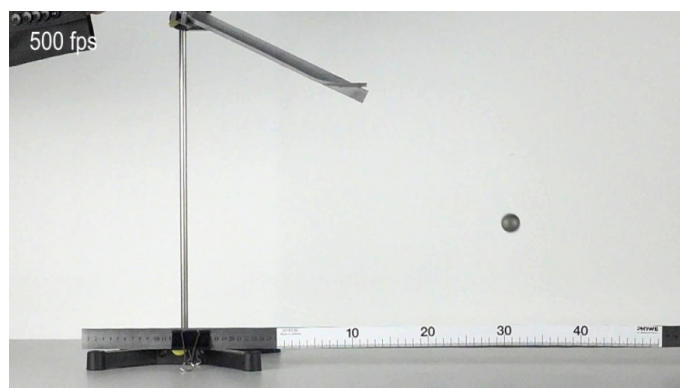
1. Кулька рівномірно рухається всередині вертикального мірного циліндра, встановленого на рухомій каретці. Каретка рівномірно горизонтально переміщується перпендикулярно руху кульки. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), запишіть рівняння залежності  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $y(x)$  у системі відліку, пов'язаній з нерухомим тілом, встановленим на горизонтальній площині. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



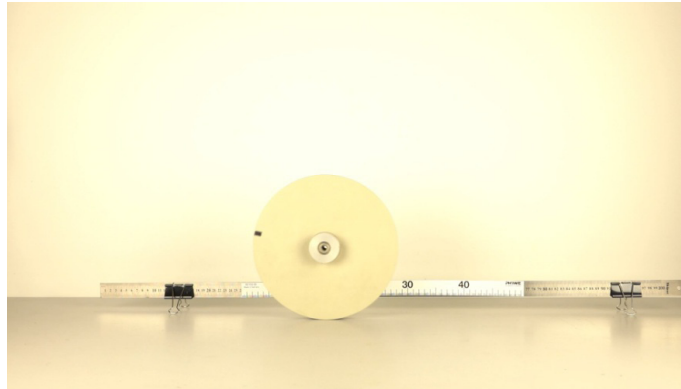
2. Легка пластикова кулька вилітає з деякою початковою швидкістю під кутом до горизонту з пускового пристрою. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), визначте радіус кривизни траєкторії кульки у найвищій точці та на половині максимальної висоти підняття. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



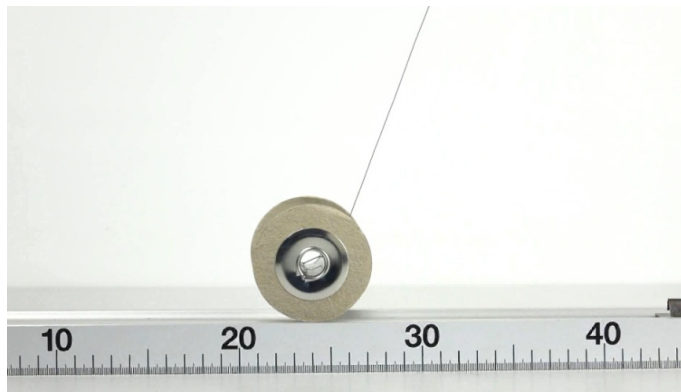
3. Важка металева кулька, скочуючись з похилого жолоба, вилітає в горизонтальному напрямку. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), запишіть рівняння залежності радіуса кривизни траєкторії її руху від часу  $r(t)$ . Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



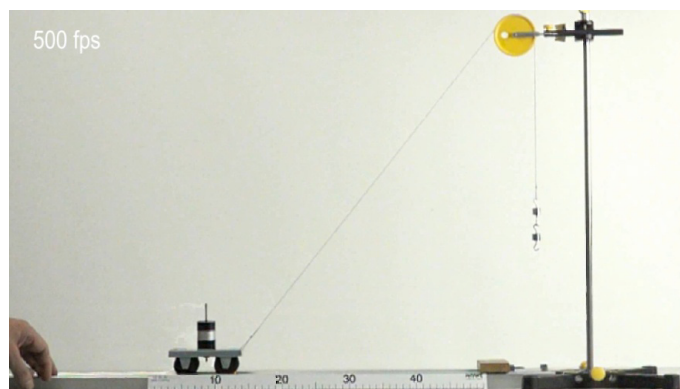
4. Суцільний диск котиться без проковзування горизонтальною площиною. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), визначте радіус кривизни траєкторії чорної позначки на диску в найвищій точці та її прискорення в цей момент. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



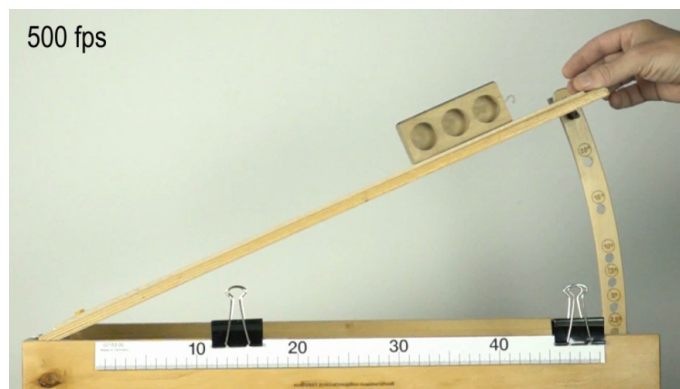
5. Котушку з намотаною на неї ниткою тягнуть за вільний кінець нитки під кутом до горизонту. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), визначте відношення зовнішнього та внутрішнього радіуса котушки. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



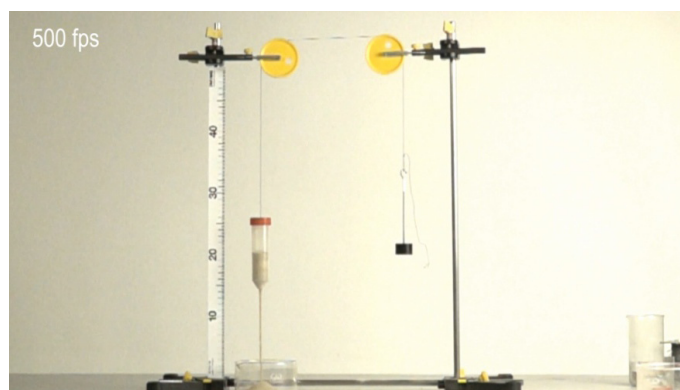
6. Легко рухомий візок масою 200 г приводиться в рух нерозтяжною ниткою, перекинutoю через блок, закріплений на деякій висоті. До другого кінця нитки приєднано вантаж масою 20 г. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), визначте прискорення руху візка в момент, коли прискорення руху вантажу буде дорівнювати 0. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



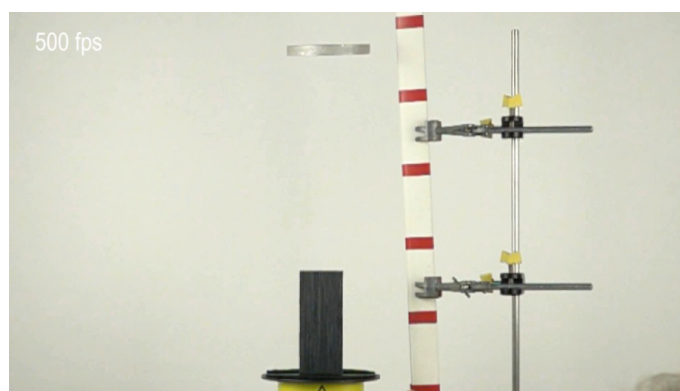
7. Тіло ковзає з прискоренням похилою площиною. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), визначте коефіцієнт сухого тертя ковзання для кожного випадку. Відеозаписи розміщені на [ресурсі](#).



8. Два тіла пов'язані нерозтяжною ниткою, перекинutoю через блоки. На початку система перебуває у спокої. Друге тіло – ємність із піском, у якій зроблено отвір. У деякий момент часу рівновага порушується, і система приходить у рух. Маса першого тіла – 60 г. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), запишіть рівняння руху тіла зі змінною масою. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



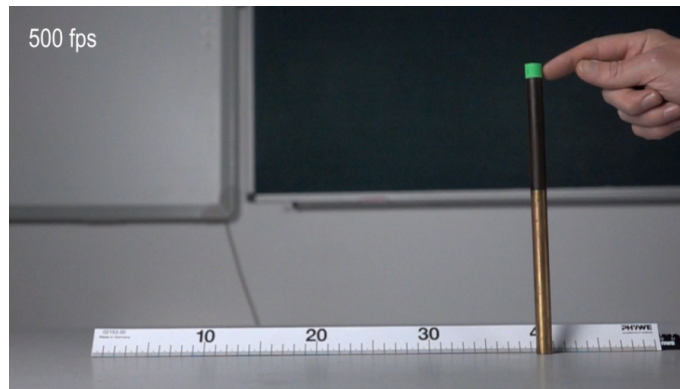
9. На осерді трансформатора Томсона встановлено кільце з алюмінію. При вмиканні струму воно підстрибує на деяку висоту. Коли кільце змінили на мідне, висота стрибка змінилася. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), визначте відношення мас мідного й алюмінієвого кільця. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



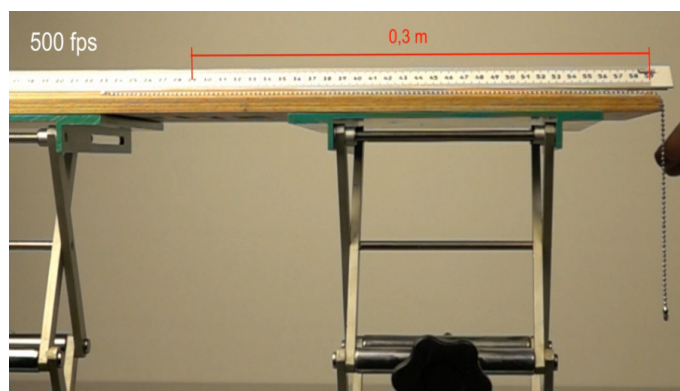
10. Легко рухомий візок масою 130 г приводиться в рух нерозтяжними нитками, перекинутими через блоки, закріплені на деякій висоті. До другого кінця нитки приєднано вантажі масою по 50 г. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), запишіть рівняння руху візка. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



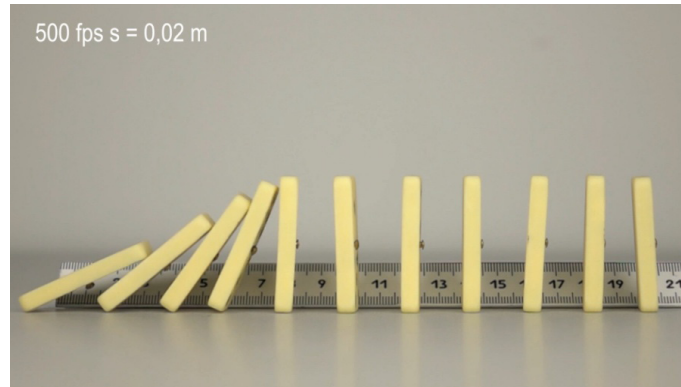
11. Однорідний стрижень, що перебуває у вертикальному положенні, падає на горизонтальну поверхню так, що точка його опори не зміщується. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), запишіть рівняння руху кінця стрижня. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



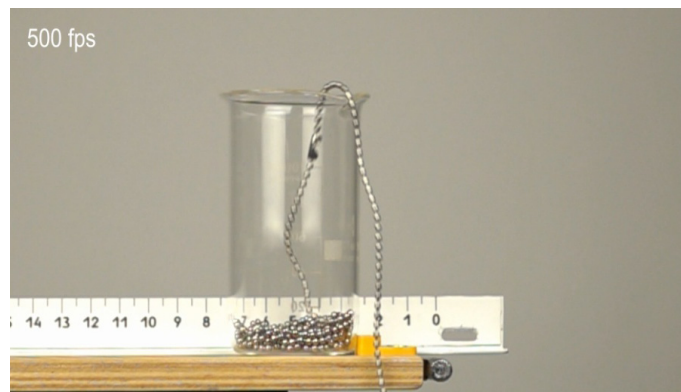
12. Ланцюжок, утворений з'єднаними металевими кульками, розташований на горизонтальній поверхні. Один з його кінців вертикально звисає з краю поверхні. Плавно рухаючи вертикальний кінець, намагаються досягнути стану самостійного руху ланцюжка. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), запишіть рівняння руху горизонтальної ділянки ланцюжка та визначте коефіцієнт тертя ланцюжка об поверхню. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



13. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), дослідіть залежність швидкості хвилі доміно, що падають, від відстані між ними. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).



14. Металевий ланцюжок, утворений з'єднаними кульками, частково перебуває у склянці. Витягаючи кінець ланцюжка, намагаються досягнути його вільного вильоту зі склянки. Використовуючи інструменти [програми для аналізу відеозапису руху тіла](#), дослідіть динаміку руху його найвищої точки. Відеозапис розміщено на [ресурсі](#).





## Лабораторна робота № 18.

### Дослідження броунівського руху

**Мета роботи:** отримати траєкторії руху броунівських частинок і з'ясувати характер закону, що описує їхній рух.

#### Завдання роботи:

1. Виготовити мікропрепарат для спостереження броунівського руху.
2. Створити відеозаписи експериментів із мікропрепаратом.
3. Використовуючи програмне забезпечення для відеоаналізу, отримати траєкторії руху кількох броунівських частинок.
4. Перевірити закон Ейнштейна – Смолуховського для руху броунівських частинок.

**Обладнання:** біологічний мікроскоп з об'єктивом 40\*–60\*, цифрова камера для мікроскопа, предметні скельця, покривні скельця, камера Горяєва або інша прозора шкала для калібрування, піпетка, дистильована вода, молоко звичайної жирності, пробірки, мірна склянка, ПК.

**Програмне забезпечення:** miniSee (<http://minisee.software.informer.com/1.1/>), Tracker (<http://physlets.org/tracker/>), Excel.

#### Загальні відомості

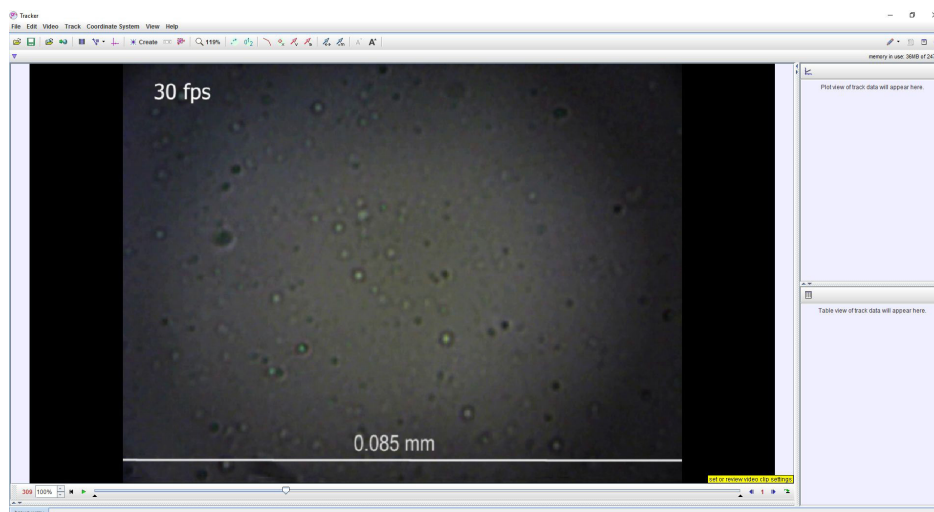


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Одним із підтверджень існування теплового хаотичного руху молекул речовини є броунівський рух. Він був відкритий у 1927 році англійським ботаніком Робертом Броуном при спостереженні за допомогою мікроскопа завислих спор плауна. Броунівський рух – це невпорядкований рух окремих завислих частинок. Його можна спостерігати, наприклад у деякій суспензії. Обґрунтоване пояснення броунівського руху дали Альберт Ейнштейн (1879–1955) і Маріан Смолуховський (1872–1917) на основі молекулярно-кінетичної теорії.

За цією теорією, молекули газу або рідини перебувають у постійному хаотичному (тепловому) русі, причому швидкості окремих молекул відрізняються як за величиною, так і за напрямком. Броунівський рух викликають поштовхи при зіткненні молекул рідини із завислою частинкою. Напрямок і величина рівнодійної сили ударів молекул змінюються з великою частотою, внаслідок чого відбувається зміна напрямку руху броунівської частинки. Відносно великі частинки під дією поштовхів набувають невеликих

прискорень, тому їхня швидкість практично не змінюється, і частинка лишається нерухомою. Внаслідок цього вдається спостерігати броунівський рух лише досить дрібних частинок.

Незважаючи на випадковий характер величини і напрямку сили, що діє на броунівську частинку, хаотичний броунівський рух підлягає певній закономірності, що виражається законом Ейнштейна: середнє значення квадрату зміщення броунівської частинки пропорційне часові, за який відбувається це зміщення. Загальний вигляд виразу для цього закону для броунівського руху в площині такий:

$$\overline{[r^2]} = 4Dt,$$

де  $\overline{[r^2]}$  – середнє значення квадрату зміщення частинки за інтервал часу  $t$ ;  $D$  – коефіцієнт дифузії, який залежить від параметрів рідини та броунівської частинки. У зазначеній роботі за допомогою програмного забезпечення для відеоаналізу пропонується побудувати траєкторії руху кількох броунівських частинок та отримати в математичних таблицях залежність між середнім значенням квадрату зміщення та інтервалом часу.

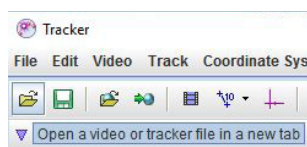
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі біологічний мікроскоп і приєднайте до нього цифрову камеру. Оберіть об'єктив кратністю 40\*–60\*.
2. Підготуйте мікропрепарат. Для цього у пробірці змішайте дистильовану воду з молоком в об'ємній пропорції 1:10. Жирність молока має бути не менше 3,2%. Маленьку краплину суспензії піпеткою нанесіть на предметне скло й акуратно накрийте предметним склом. Виготовте ще декілька мікропрепаратів, знижуючи концентрацію молока до 1:15; 1:20. Ці мікропрепарати необхідні для того, щоб щільність жирових кульок, за якими ви будете спостерігати, була достатньою для утворення броунівського руху. Добір найкращого мікропрепарату здійснюється експериментальним шляхом. Мікропрепарати мають властивість висихати, тому їх бажано тримати в герметичній посудині.
3. Помістіть мікропрепарат на предметний столик мікроскопа і ввімкніть освітлення. Запустіть програмне забезпечення камери мікроскопа. Мікрометричними гвинтами досягніть чіткого зображення кульок жиру на екрані ПК.
4. Спочатку потрібно звернути увагу на те, щоб кульки рухалися в полі зору, рідко стикаючись між собою. Для цього використовують інші мікропрепарати. Далі необхідно досягнути оптимальної освітленості та контрастності зображення, регулюючи діафрагму освітлювача і яскравість лампи підсвітки.
5. При внесенні мікропрепарата у поле зору мікроскопа виникають спонтанні потоки рідини, що спостерігається в направленому русі броунівських частинок. Перед початком запису необхідно витримати препарат, доки рух частинок не відбуватиметься у всіх напрямках з однаковою імовірністю.
6. Розпочніть запис відео.
7. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

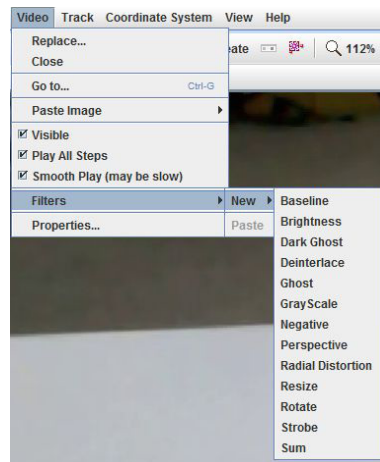
#### Частина 2. Опрацювання відео

8. Завантажте перше відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.






Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

9. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис. Виділіть ті частинки, які здійснюють хаотичний рух і не сильно змінюють свій зовнішній вигляд на певному інтервалі відео. Частинки, які беруть участь у направленому русі, для дослідження непридатні.
10. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



11. Установіть номер кадру, з якого буде відстежуватися рух частинок, і номер кадру, на якому процес закінчиться. Для аналізу потрібна достатня кількість кадрів у межах 10–20 с. Лічильник кадрів розташований у стрічці кнопок керування у вікні відеозапису.



12. Оберіть у верхній стрічці кнопку Clip Settings . Випаде вікно встановлення меж кадрів відеозапису. Зазначте в ньому номер початкового та кінцевого кадру, крок зміни кадрів (якщо кадрів багато, то крок дає змогу зменшити кількість кадрів для аналізу) і частоту зйомки (за замовчуванням програма сама обирає цей параметр із властивостей відеозапису). Оберіть Ok.
13. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат сумістить з першою частинкою. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятовує (рис. 2).

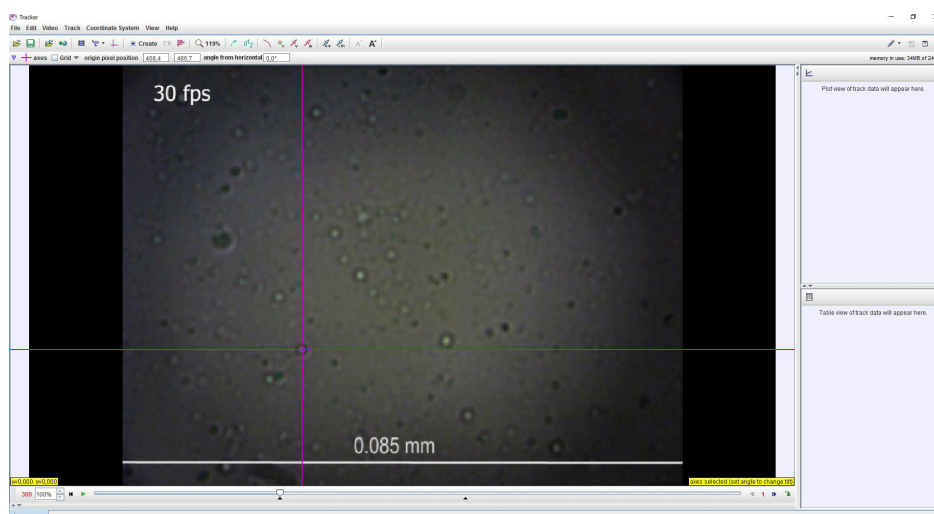


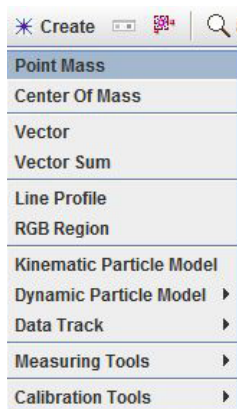


Рис. 2. Вигляд вікна програми Traker після встановлення положення системи координат

14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно

ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Оди-ничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину. Оди-ничний відрізок є на відеозаписі з ресурсу. Якщо ви проводите роботу самостійно, потрібно помістити під об'єктив мікроскопа камеру Горяєва з нанесеними на неї квадратами і визначити розмір поля спостереження.

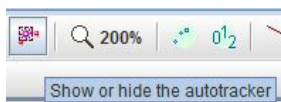
15. Для відстежування руху частинки оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



16. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.

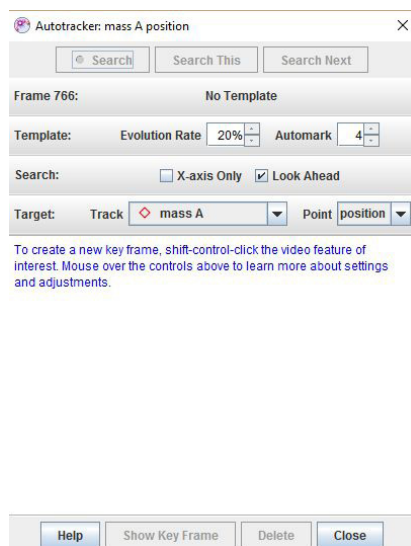
17. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з першою частинкою і натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.

18. Поверніть запис на перший кадр і оберіть у верхньому меню функцію автотрекінгу, натиснувши



кнопку

19. У робочому вікні з'явиться вікно автотрекінгу.



20. У цьому вікні зазначається, що буде відстежуватися матеріальна точка, яку позначили на першому кадрі. Для подальшого автоматичного відстежування точки необхідно визначити ключовий кадр запису. Натисніть одночасно клавіші Ctrl і Shift. Курсор змінить свій зовнішній вигляд на коло з перехрестям. Укажіть маніпулятором точку і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Навколо точки через певний час з'являться коло та пунктирна рамка. Коло буде охоплювати тіло, а рамка вказуватиме окіл на зображенні, в якому програма автоматично шукатиме його наявність. Розмір кола і рамки можна змінювати. Для цієї роботи рамку бажано зробити не більшою, ніж 2 розміри кола. У вікні автотрекінгу з'явиться збільшене зображення тіла на першому та наступному кадрі. Якість автотрекінгу залежить від того, наскільки змінюватиметься зображення тіла на кожному

кадрі. У разі критичної зміни програма зупинить відстежування тіла і запропонує змінити окіл відстежування.

21. Оберіть у вікні автотрекінгу кнопку Search і дочекайтеся результату. Якщо кількість кадрів для аналізу значна, це потребуватиме певного часу. Якщо при відстежуванні трапився збій, видалити попередні точки можна, обравши в цьому вікні кнопку Delete. Якщо автотрекінг пропонує дії під час зупинки, оберіть одну з них для продовження відстежування частинки. Якість роботи автотрекінгу визначається багатьма умовами, але головною є контрастність зображення тіла щодо заднього фону. Після завершення роботи автотрекінгу закрийте його вікно.
22. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.
23. Оберіть у вікні графіка вертикальну вісь у, а горизонтальну – х. Якщо графік має вигляд ламаної лінії з хаотичним розміщенням ланок, то частинка обрана вдало. Якщо ж спостерігається характерне зміщення у одному з напрямків, необхідно змінити частинку для спостереження.
24. Розмір частинки має суттєве значення для отримання якісного результату, тому потрібно визначити 5–7 частинок, за якими спробувати провести спостереження, відібравши для подальшого аналізу три з них.
25. Якщо частинка обрана вдало, у вікні таблиць необхідно обрати кнопку Table. У вікні, що відкриється, треба обрати маркер біля позначки  $r$ . У вікні таблиць з'явиться колонка, що відповідатиме зміщенню частинки відносно положення на першому кадрі.
26. У полі таблиць виділіть колонки часу і зміщення. Колонки можна переставляти перетягуванням. Далі оберіть

9.542	0.134	-7.797E-2	0.110
9.576	0.136	-7.740E-2	0.112
9.609	0.138	-7.684E-2	-1.847E-2
9.64			-3.606E-2
9.67			
9.70			
9.74			
9.77			
9.80			
9.84			-7.156E-2
9.87			5.557E-2
9.90			4.369E-2
9.94			3.819E-2
9.97			3.427E-2
10.01			3.302E-2

і перенесіть значення у таблиці Excel. У таблицях перевірте, щоб перенесені значення сприймалися як числові дані.

27. Повторіть попередні кроки, починаючи від 14, ще для мінімум двох частинок.

### Частина 3. Аналіз даних

28. У математичних таблицях оберіть колонку з даними для першої частинки mass A. Створіть колонку для значення  $r^2$  і обчисліть ці значення для всіх моментів часу. Створіть колонку для отримання усередненого значення  $[r^2]$  і прорахуйте його значення, зафіксувавши початкове значення  $r^2$ .
29. Повторіть дії для двох інших частинок.
30. Створіть колонку суми усереднених значень  $[r^2]$  для всіх частинок та прорахуйте її.
31. Побудуйте графік залежності  $[r^2]$  від часу  $t$ . Побудуйте лінію тренду, провівши лінійну інтерполяцію.
32. Вигляд отриманого графіка залежить від якості траєкторій руху частинок, тому добір частинок можна здійснювати неодноразово.
33. Сформулюйте висновок до роботи.

## Лабораторна робота № 19. Дослідження ізопроцесів у газі

**Мета роботи:** дослідити процес ізотермічного стиснення повітря.

**Завдання роботи:**

1. Провести експерименти з ізотермічного стиснення стовпа повітря з використанням вимірника тиску.
2. Створити відеозапис експерименту.
3. Отримати значення тисків і відповідної довжини стовпа повітря, а за допомогою математичних таблиць обчислити добутки цих значень.

**Обладнання:** водяний манометр, датчик тиску, ЦВК, ПК.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>), Excel.

### Загальні відомості

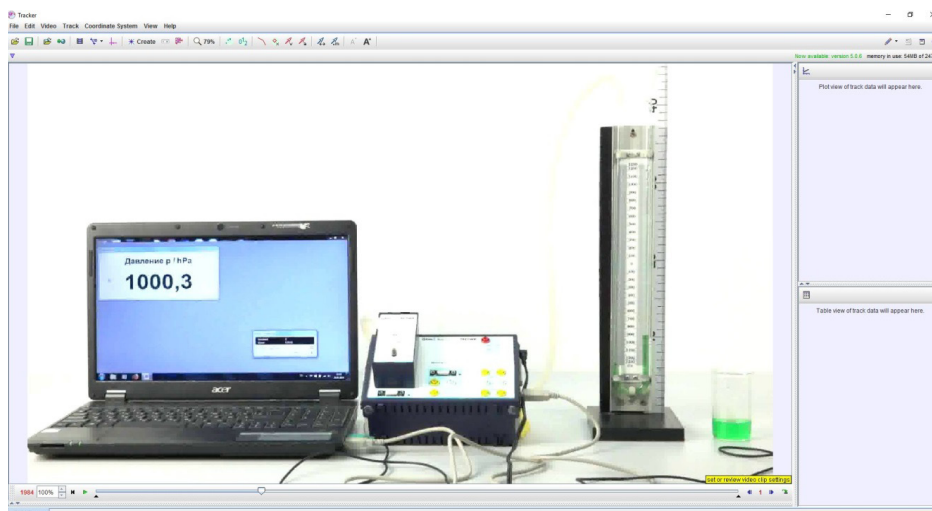


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Ізотермічний процес – фізичний процес, під час якого температура не змінюється.

Ізотермічний процес відбувається достатньо повільно для того, щоб температура підтримувалася сталою завдяки теплообміну із середовищем. Якщо до ізотермічного процесу застосувати рівняння Клапейрона, то з урахуванням сталості температури воно набуде вигляду:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

тобто для деякої маси газу добуток тиску газу на об'єм за незмінної температури є сталою величиною. Цей закон (закон Бойля – Маріотта) справедливий для будь-яких газів, які можна вважати ідеальними, а також для їхніх сумішей.

Метою зазначеної роботи є перевірка виконання цього закону при повільному стисканні повітря, що міститься в коліні водяного манометра, з'єднаного за допомогою силіконової трубки визначеної довжини (початкова загальна довжина стовпа повітря в записаному експерименті 1,32 м) з вимірником тиску. Оскільки діаметри трубки манометра та силіконової трубки збігаються, об'єм повітря може бути

обчислений як добуток площі перерізу трубки і довжини стовпа повітря. За умови скорочення площі перерізу закон набуває вигляду:

$$p_1 l_1 = p_2 l_2,$$

де  $l_1$  та  $l_2$  – довжини стовпа повітря.

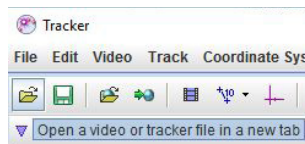
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі рідинний манометр і частково заповніть його підфарбованою рідиною.
2. Приєднайте у площині манометра лінійку.
3. Виміряйте довжину силіконової трубки, з'єднайте її з відкритим лівим коліном манометра та вимірником тиску. Розрахуйте початкову довжину стовпа повітря, вимірявши відстань до меніска рідини в коліні манометра, та додайте до неї довжину силіконової трубки. Розраховане значення запишіть до таблиці.
4. Увімкніть вимірник тиску і запишіть до таблиці початкове значення тиску повітря.
5. Приготуйте пристрій для відеозапису, оберіть стандартну частоту запису і встановіть його так, щоб установка повністю потрапила в кадр.
6. Розпочніть запис відео.
7. За допомогою піпетки повільно заповнюйте праве коліно манометра рідиною до найвищої точки.
8. Об'єм рідини має збільшуватися поступово за 5–6 кроків.
9. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

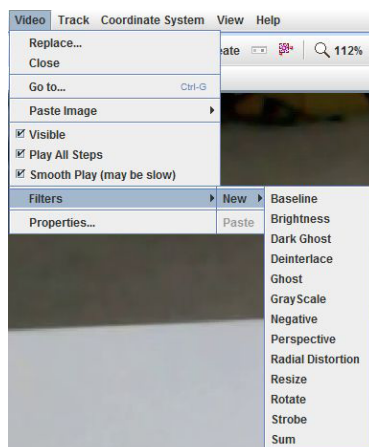
#### Частина 2. Опрацювання відео

10. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.

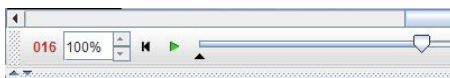




Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

11. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис і виділіть кадри, коли стовп повітря не змінювався.
12. Якщо об'єктів пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



13. Установіть повзунок на перший обраний кадр та запишіть його номер до таблиці.



14. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат сумістить із меніском рідни в лівому коліні. Повторно оберіть кнопку Show or hide the coordinate axes . Система координат зникне, але її положення програма запам'ятує (рис. 2).

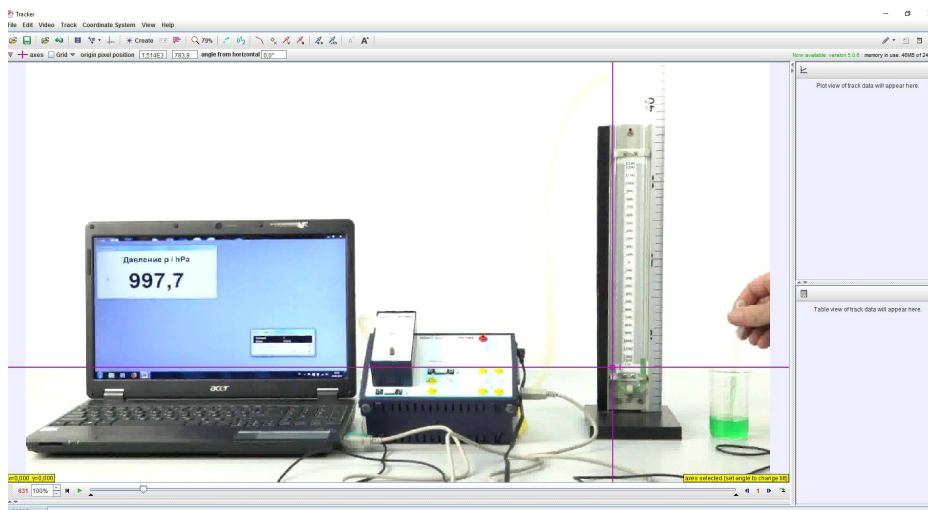


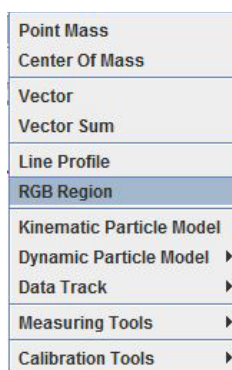


Рис. 2. Вигляд вікна програми Tracker після встановлення положення системи координат

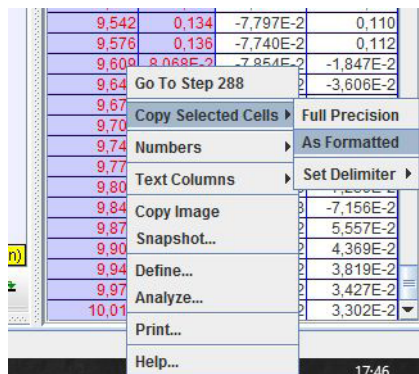
15. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятує його положення та довжину.
16. Для відстежування руху меніска оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



17. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
18. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з положенням меніска в лівому коліні й натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр.
19. Запишіть показ вимірника тиску до таблиці.
20. Перемістіть повзунок на наступний кадр, обраний для аналізу, і повторіть попередні дії.



21. Продовжуйте до останнього обраного кадру.
22. У вікнах правої частини з'являться графік і таблиця, на основі яких відбуватиметься аналіз отриманих даних.
23. Оберіть у вікні графіка вертикальну вісь у.
24. У полі таблиць виділіть колонку зміщення.
25. Далі оберіть



і перенесіть значення у таблиці Excel. У таблицях перевірте, щоб перенесені значення сприймалися як числові дані.

### **Частина 3. Аналіз даних**

26. У математичних таблицях створіть колонку з даними для довжини стовпа повітря, віднявши від початкової довжини зміщення меніска.
27. Сформууйте колонку з даними для виміряного тиску повітря.
28. Задайте формулою операцію множення довжини стовпа і тиску повітря.
29. Обрахуйте середнє значення добутку для всіх розглянутих випадків і відносну похибку.
30. Порівняйте отримані дані і сформууйте висновок до роботи.

## Лабораторна робота № 20.

### Визначення сталої Больцмана та універсальної газової сталої

**Мета роботи:** експериментально визначити значення сталої Больцмана та універсальної газової сталої.

**Завдання роботи:**

1. Провести експеримент зі скляною кулею, відкачуючи з неї повітря і вимірюючи її масу і тиск повітря у ній.
2. Створити послідовність світлин експерименту.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, розрахувати значення універсальної газової сталої та сталої Больцмана.

**Обладнання:** скляна куля відомого об'єму (1,18 дм<sup>3</sup>), електронні терези, термометр, насос Комовського, датчик тиску, ЦВК, ПК, фотоапарат.

#### Загальні відомості



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Для визначення універсальної газової сталої та сталої Больцмана використовується експериментальна установка, яка дає змогу зменшувати тиск повітря у скляній кулі, що застосовується для визначення маси повітря. Напишемо рівняння Менделєєва – Клапейрона для двох випадків: для випадку, коли куля заповнена повітрям за атмосферного тиску, та для випадку, коли частина повітря видалена з кулі шляхом відкачування насосом

$$p_1 V = \frac{m_1}{\mu} RT, \quad (1)$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu} RT, \quad (2)$$

де  $p_1$  та  $p_2$  – тиск повітря у двох станах;  $T$  – абсолютна температура при проведенні експерименту (для записаного випадку  $T = 300$  К);  $\mu$  – молярна маса повітря ( $\mu = 0,029$  кг);  $m_1$  та  $m_2$  – маса повітря у колбі у двох станах.

Віднявши цих два рівняння і врахувавши масу скляної колби, отримаємо вираз для розрахунку універсальної газової сталої:

$$R = \frac{\mu V(p_1 - p_2)}{T(m_1 - m_2)} \quad (3)$$

Розділивши отримане значення на сталу Авогадро, отримаємо вираз для розрахунку сталої Больцмана:

$$k = \frac{R}{N_A} \quad (4)$$

де  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ .

### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання світлин

1. Установіть на столі насос, електронні терези, ПК, ЦВК з датчиком тиску.
2. Відкрийте вентиль кулі для зважування повітря. Прочитайте значення об'єму кулі  $V$  (в нашому випадку  $1,18 \text{ дм}^3$ ) і занотуйте це значення до таблиці.
3. Увімкніть електронні терези і встановіть на них кулю.
4. Увімкніть ЦВК і запустіть процес вимірювання тиску повітря.
5. Зробіть першу світлину так, щоб чітко було видно значення тиску  $p_1$  і маси кулі  $m_1$ .
6. Зніміть кулю з терезів і приєднайте її до насоса. Приєднайте до насоса вимірник тиску.
7. Обертаючи рукоять насоса, зробіть декілька качків для зменшення тиску всередині кулі. Зменшивши тиск наближено вдвічі, зупиніть відкачування і зробіть другу світлину так, щоб видно було значення тиску  $p_2$ .
8. Закрийте вентиль на кулі. Від'єднайте кулю від насоса і встановіть її на терези.
9. Зробіть третю світлину так, щоб було добре видно значення маси кулі  $m_2$ .
10. Якщо можливості отримати світлини немає, завантажте готові з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Опрацювання світлин

11. Визначте за першою світлиною масу кулі з повітрям  $m_1$  і значення тиску  $p_1$ . Занотуйте ці значення до таблиці.
12. Визначте за другою та третьою світлинами масу кулі  $m_2$  і значення тиску  $p_2$ . Занотуйте ці значення до таблиці.

#### Частина 3. Аналіз даних

13. Використовуючи формули (3) та (4), обрахуйте універсальну газову сталу і сталу Больцмана. Занотуйте отримані значення до таблиці.
14. Порівняйте отримані значення з табличними і сформулюйте висновок до роботи.

Таблиця результатів

Об'єм повітря в кулі, $V$ ( $\text{м}^3$ )	Початкова маса кулі, $m_1$ ( $\text{кг}$ )	Початковий тиск повітря, $p_1$ ( $\text{Па}$ )	Кінцева маса кулі, $m_2$ ( $\text{кг}$ )	Кінцевий тиск повітря, $p_2$ ( $\text{Па}$ )	Експериментальне значення газової сталої, $R$ ( $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ )	Експериментальне значення сталої Больцмана, $k$ ( $\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$ )

## Лабораторна робота № 21.

### Вимірювання поверхневого натягу рідини (варіант 1)

**Мета роботи:** експериментально визначити значення поверхневого натягу води методом утворення бульбашки за даної температури.

#### Завдання роботи:

1. Скласти експериментальну установку і провести експеримент із утворення бульбашок у воді.
2. Створити відеозапис експерименту.
3. За допомогою програмного забезпечення визначити значення надлишкового тиску всередині бульбашки і розрахувати поверхневий натяг.

**Обладнання:** установка для утворення бульбашок у рідині (посудина для досліджуваної рідини, капіляр, водяний аспіратор, склянка, з'єднувачі, триходовий кран, силіконові трубки), водяний манометр, термометр, цифровий мікроскоп, ПК, фотоапарат.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

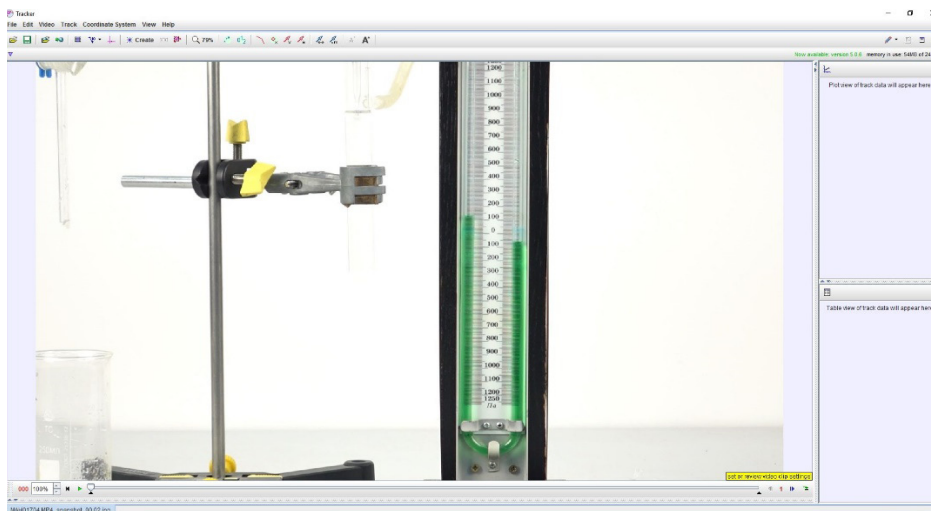


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Для визначення поверхневого натягу води за даної температури використовується явище утворення бульбашки повітря на невеликій глибині. Бульбашка утворюється на кінці тонкого капіляра, діаметр якого відомий або визначається за допомогою цифрового мікроскопа. Умовою утворення бульбашки повітря є створення в ній надмірного тиску. Як відомо з теорії, максимальний тиск у бульбашці буде за її мінімального діаметра, що відповідає моменту утворення на кінці капіляра.

Установка для вимірювання поверхневого натягу рідини складається з посудини із досліджуваною рідиною та скляної трубки з відтягнутим нижнім кінцем – капіляром. Температура води дорівнює температурі навколишнього повітря і вимірюється термометром. Посудина за допомогою системи трубок з'єднується з водяним манометром та аспіратором. Аспіратор має сполучення з атмосферою через триходовий кран (рис. 1). Коли з аспілятора витікає вода, тиск у посудині знижується, а за деякого його значення  $P$  під дією атмосферного тиску  $P_0$  через капіляр у рідину протискується пухирець повітря. Різниця  $\Delta P = P_0 - P$  вимірюється водяним манометром. Триходовий кран з'єднує всю систему

з атмосферою і може бути закритим від атмосфери. Тиск всередині повітряного пухирця в рідині у момент відриву дорівнює атмосферному  $P_0$ . Гідростатичним тиском можна знехтувати, оскільки глибина занурення пухирця в рідину є малою. Тому:

$$P_0 = P + P_1, \quad (1)$$

де

$$P_1 = \frac{2\sigma}{R}, \quad (2)$$

У цій формулі  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини,  $R$  – радіус бульбашки, який у момент утворення дорівнює радіусу капіляра.

Тоді:

$$\sigma = \Delta P \frac{R}{2}. \quad (3)$$

### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання відео

1. Установіть на столі цифровий мікроскоп, ПК (рис. 2).
2. Увімкніть мікроскоп та виміряйте діаметр капіляра  $d$ . Розрахуйте його радіус  $R$ , поділивши його діаметр навпіл, та запишіть значення до таблиці.

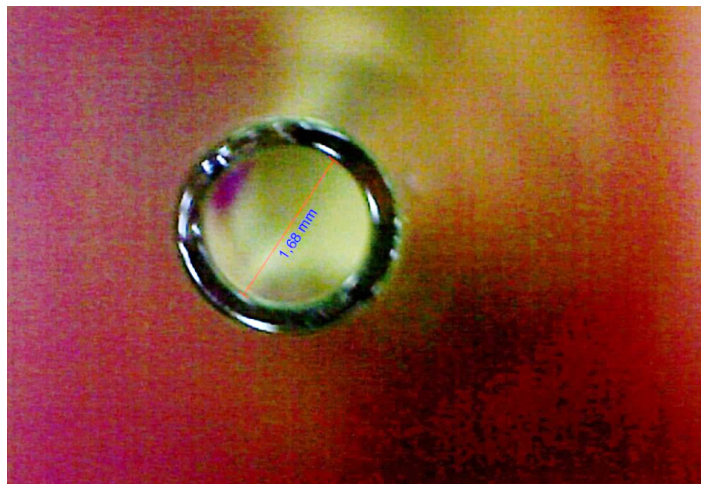
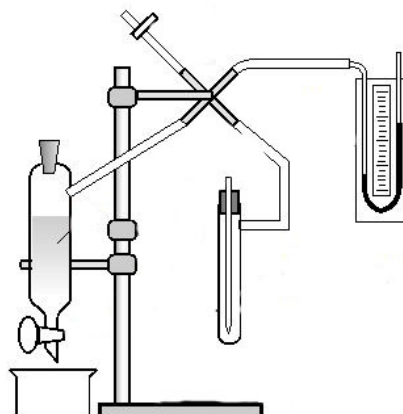


Рис. 2. Зовнішній вигляд вікна цифрового мікроскопу

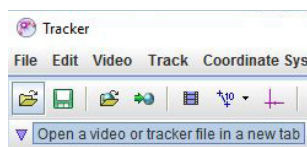
3. Складіть експериментальний пристрій за схемою:



4. Заповніть посудину досліджуваною рідиною. Через корок просуньте капіляр так, щоб він торкнувся поверхні рідини. За допомогою триходового крана з'єднайте посудину з атмосферою, щоб різниця тисків у манометрі дорівнювала 0. Виміряйте термометром температуру навколишнього повітря.
5. Закрийте кран так, щоб посудина була з'єднана тільки з аспіратором.
6. Плавню відкриваючи кран аспілятора, досягніть стану, коли вода з нього витікає краплинами, а бульбашка утворюється в посудині через 5–10 с.
7. Приготуйте пристрій для відеозапису, оберіть стандартну частоту запису і встановіть його так, щоб установка повністю потрапила в кадр. Особливу увагу приділіть тому, щоб у кадрі було добре видно покази рідинного манометра.
8. Розпочніть запис відео.
9. Відео має містити процес утворення 5–10 бульбашок.
10. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

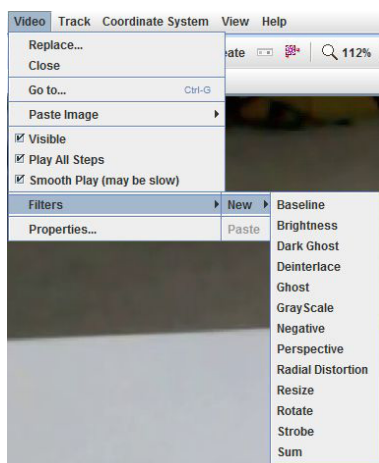
### Частина 2. Опрацювання відео

11. Завантажте відео у програму Tracker. Для цього скористайтесь кнопкою Open у верхньому меню програми.




Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.



12. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис і виділіть кадри, коли різниця тисків була максимальною.
13. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



14. Установіть повзунок на перший обраний кадр та запишіть його номер до таблиці.



15. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. Для цього експерименту зручно використати шкалу рідинного манометра,

проградуєвану в паскалях. Оберіть першу і другу точку на позиції оцифрованих поділок шкали. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення різниці тисків. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та задану одиницю. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На відеозаписі з'являться осі координат. Центр системи координат сумістить із меніском рідни у лівому коліні (рис. 3).

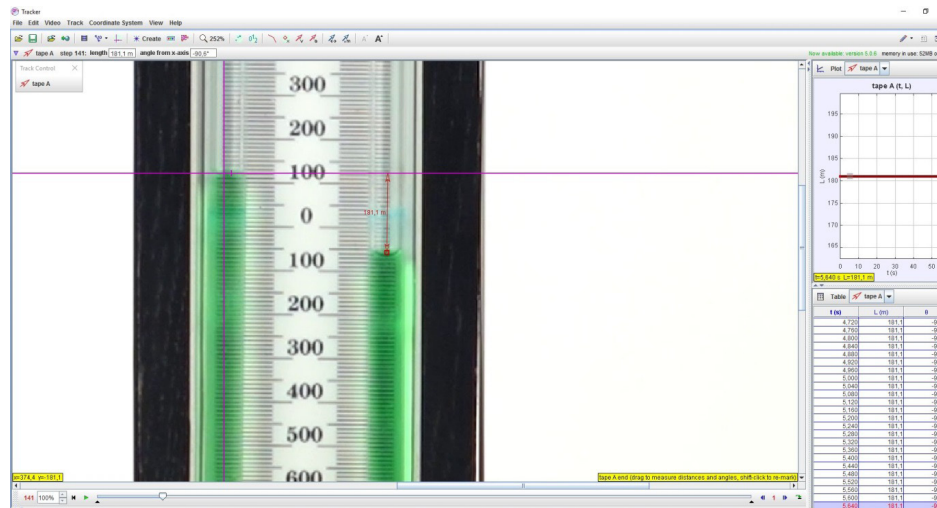
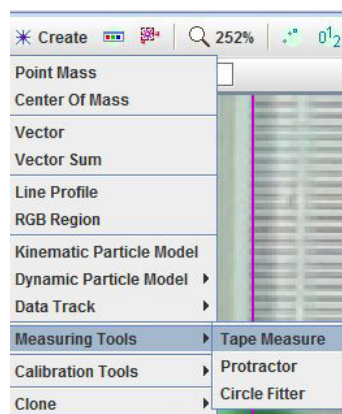


Рис. 3. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker після встановлення осей координат та вимірювального відрізка

16. Для вимірювання показів манометра оберіть у верхньому меню кнопку Create – Measuring tools – Tape Measure.



17. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control – tape A та на відео – відрізок, кінці якого можна перетягувати.
18. Сумістіть кінці відрізка з нижньою поверхнею меніска у правому коліні і найближчою точкою на горизонтальній осі координат. Зчитайте значення різниці тисків та запишіть до таблиці.
19. Перейдіть на наступний обраний вами кадр і повторіть кроки з вимірювання різниці тисків. Продовжуйте ці кроки до останнього обраного кадру. Результати вимірювань запишіть до таблиці.

### Частина 3. Аналіз даних

20. Обрахуйте середнє значення різниці тисків і запишіть його до таблиці.
21. Розрахуйте поверхневий натяг за середнім значенням різниці тисків, використовуючи вираз (3).
22. Проаналізуйте експеримент і сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

№	Радіус капіляра, $R$ (м)	Виміряна різниця тисків, $\Delta p$ (Па)	Середнє значення різниці тисків, $\Delta p_c$ (Па)	Поверхневий натяг, $\sigma$ (Н/м)



## Лабораторна робота № 21. Вимірювання поверхневого натягу рідини (варіант 2)

**Мета роботи:** експериментально визначити значення поверхневого натягу води методом відриву кільця.

### **Завдання роботи:**

1. Скласти експериментальну установку і провести експеримент із відривом кільця від поверхні води.
2. З допомогою програмного забезпечення визначити значення сили, необхідної для відриву кільця, та розрахувати поверхневий натяг.

**Обладнання:** штатив, підймальний столик, тонке кільце з підвісом, чашка Петрі, дистильована вода, ЦВК, датчик сили з модулем, лінійка, ПК.

### Загальні відомості



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Установку для визначення коефіцієнта поверхневого натягу води методом відриву кільця зображено на рис. 1. Тонкостінне кільце (виготовлене з матеріалу, що добре змочується досліджуваною рідиною) підвішується на датчику сили, з'єднаному з АЦП. Кільце підвішують так, щоб його вісь була вертикальною. Під кільцем на підймальному столику встановлена чашка Петрі, в яку налита досліджувана рідина. Під час підведення чашки з рідиною кільце трохи втягнеться всередину рідини. Якщо після цього почнемо повільно опускати посудину з водою, сила, яка реєструється датчиком, поступово зростатиме, аж поки кільце не відірветься від поверхні води. При цьому відбудеться розрив поверхневої плівки по обидва боки контуру кільця. Якщо виміряти силу  $F$ , яку необхідно прикласти до кільця, щоби розірвати поверхневу плівку, та обчислити внутрішні і зовнішні контури кільця  $d_1$  та  $d_2$ , то визначимо поверхневий натяг за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{\pi(d_1 + d_2)}, \quad (1)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр кільця;  $d_2$  – зовнішній діаметр кільця.

Враховуючи, що товщина стінки кільця дуже мала, внутрішній та зовнішній діаметри можна вважати однаковими. Тоді робочий вираз для розрахунку поверхневого натягу набуде вигляду:



$$\sigma = \frac{F}{2\pi d} \quad (2)$$

### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання даних

1. Установіть на столі штатив, ПК, ЦВК з датчиком сили. Помістіть під датчиком сили підймальний столик із чашкою Петрі.
2. Влийте у чашку Петрі досліджувану рідину, наприклад воду.
3. Виміряйте діаметр кільця  $d$ , округливши значення до міліметрів (у нашому випадку 24 мм). Запишіть результат до таблиці. Закріпіть кільце на гачку датчика сили.
4. Увімкніть ЦВК та як чутливий елемент визначте датчик сили.
5. Запрограмуйте ЦВК вимірювати необмежену кількість даних і встановіть частоту замірів 5 замірів на секунду. Чутливість датчика оберіть у мН.
6. Увімкніть запис даних і повільно піднімайте столик до того моменту, коли кільце зануриться у рідину. Далі повільно опускайте столик до моменту відриву кільця від поверхні рідини. Дайте заспокоїтися коливанням кільця і повторіть дії. Зупиніть запис даних.
7. Якщо можливості провести експеримент немає, завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Аналіз даних

8. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phyuwe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
9. У графічному вікні розташований графік зміни сили. На початку оптимізуйте масштаб, для чого оберіть у верхньому меню кнопку «Приладжування»  (рис. 2).
10. Оберіть у верхньому меню кнопку «Огляд» . У вікні графіка з'явиться рамка, розміри якої можна змінювати перетягуванням за кутки. Прилаштуйте розмір і позицію рамки так, щоб верхній її край торкався піка графіка, що відповідає моменту відриву, а нижній край – стану рівноваги кільця у повітрі.
11. Зчитайте у вікні поряд з рамкою значення різниці виміряних сил, що відповідає силі, яку потрібно прикласти для відриву кільця  $F$ , і занотуйте його до таблиці.
12. Повторіть виміри для інших піків на графіку і знайдіть середнє значення сили відриву.

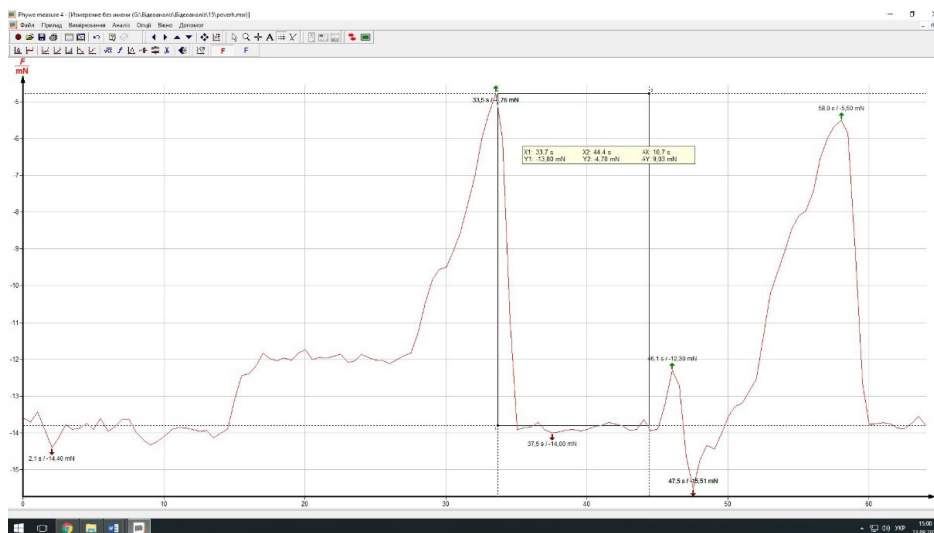


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрана з графіком зміни сили та вимірною рамкою

13. Користуючись виразом (2), обрахуйте поверхневий натяг рідини. Занотуйте значення до таблиці.
14. Проаналізуйте впливові фактори, що визначають значення поверхневого натягу, та сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

Діаметр кільця, $d$ (м)	Сила відриву, $F$ (Н)	Середня сила відриву, $F_c$ (Н)	Поверхневий натяг, $\sigma$ (Н/м)

## Лабораторна робота № 22. Визначення ККД теплового процесу

**Мета роботи:** експериментально визначити значення коефіцієнта корисної дії теплового процесу.

**Завдання роботи:**

1. Провести експеримент із моделлю теплового двигуна.
2. Зафіксувати процес зміни температури за допомогою ЦВК.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, розрахувати значення коефіцієнта корисної дії моделі.

**Обладнання:** модель теплового двигуна (<https://www.xump.com/science/Dr%20Johnsons-Heat-Engine.cfm>), мірні стакани, гаряча та холодна вода, датчики температури, ЦВК, ПК.

### Загальні відомості

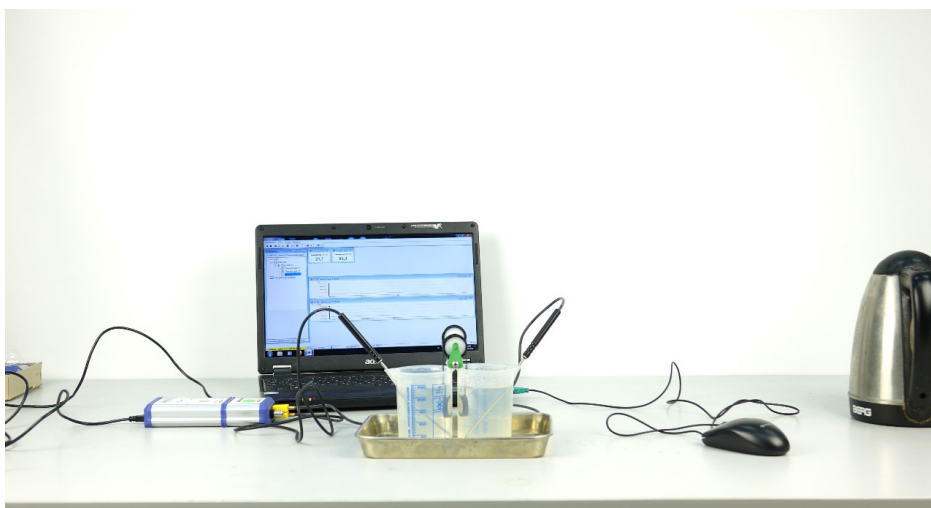


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Для визначення коефіцієнта корисної дії теплового процесу використовуємо модель теплового двигуна, що має в основі пружину, виготовлену з металу з пам'яттю форми. Такі двигуни називають мартенситовими двигунами. Для приведення їх у дію потрібно мати два рідких середовища з різницею температур у кілька десятків градусів. Такими середовищами виступають склянки з гарячою та охолодженою водою. Під час роботи двигуна нагрівником є склянка з гарячою водою, температура в якій знижується, а холодильником – склянка з охолодженою водою, температура якої зростає (рис. 1). Розрахувавши кількість теплоти, відданої нагрівачем робочому тілу  $Q_1$ , та кількість теплоти, прийнятої холодильником  $Q_2$ , отримуємо значення коефіцієнта корисної дії цієї моделі. Для його розрахунку використовуємо вираз:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Для розрахунку кількостей теплоти скористаємося виразами:

$$Q_1 = c_{\text{В}} m_1 (t_1 - t_2), \quad (2)$$

$$Q_2 = c_{\text{В}} m_2 (t_3 - t_4), \quad (3)$$

де  $m_1$  та  $m_2$  – маса води в мірних стаканах;  $t_1$  та  $t_2$  – початкова та кінцева температура гарячої води,  $t_3$  та  $t_4$  – кінцева та початкова температура охолодженої води.




Оскільки температура нагрівника і холодильника змінюється плавно і є необхідність у встановленні усередненої температури в обох стаканах після припинення роботи двигуна, використовується ЦВК з двома датчиками температури, що здійснюють вимірювання в динаміці.

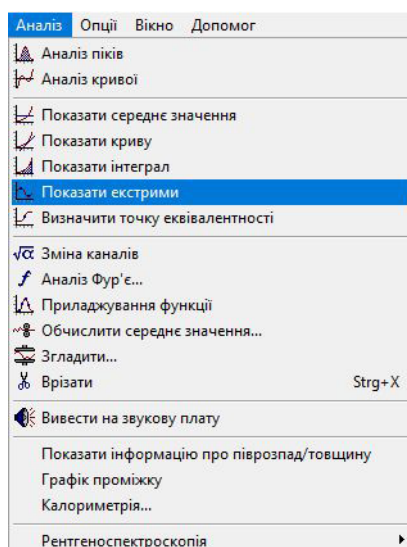
## Хід роботи

### Частина 1. Отримання даних

1. Установіть на столі мірні стакани, ПК, ЦВК з датчиками температури.
2. Влийте до одного мірного стакана холодну воду зі шматочками льоду, до іншого – окріп. Об'єм води має бути однаковим в обох стаканах. Запишіть до таблиці масу води в обох стаканах.
3. Увімкніть ЦВК і помістіть датчики температури до стаканів.
4. Запрограмуйте ЦВК вимірювати необмежену кількість даних і встановіть частоту замірів – 2 заміри на секунду.
5. Коли значення температури, що фіксують датчики, стабілізується, увімкніть запис даних.
6. Помістіть у стакани модель теплового двигуна й невеликим поштовхом запустіть його.
7. Запис даних має відбуватися впродовж роботи двигуна і протягом 10–15 с після його зупинки. У момент, коли двигун зупинився, перемішайте воду в стаканах датчиками температури. Зупиніть запис даних у момент, коли температура в обох стаканах стабілізувалася.
8. Якщо можливості провести експеримент немає, перегляньте його відеозапис та завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

### Частина 2. Аналіз даних

9. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phywe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
10. У графічному вікні розташовані два графіки. На початку оптимізуйте масштаб, для чого оберіть у верхньому меню кнопку «Приладжування» .
11. Оскільки вимірювання здійснювалося двома датчиками температури, на екрані є два графіки. Перемикання між каналами даних здійснюється кнопками  .
12. Оберіть перший канал запису температури, а у верхньому меню у вкладці «Аналіз» оберіть «Показати екстрими».





## Лабораторна робота № 23. Вимірювання електроємності конденсатора

**Мета роботи:** експериментально визначити значення ємності конденсатора і порівняти його із значеним номіналом.

### Завдання роботи:

1. Провести експеримент із з'єднанням конденсаторів.
2. Зафіксувати процес зміни струму і напруги за допомогою ЦВК.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, розрахувати значення електричної ємності конденсаторів і порівняти його з номінальним.

**Обладнання:** електричне коло, представлене на світлині, джерело живлення, датчики струму та напруги, ЦВК, ПК.

### Загальні відомості

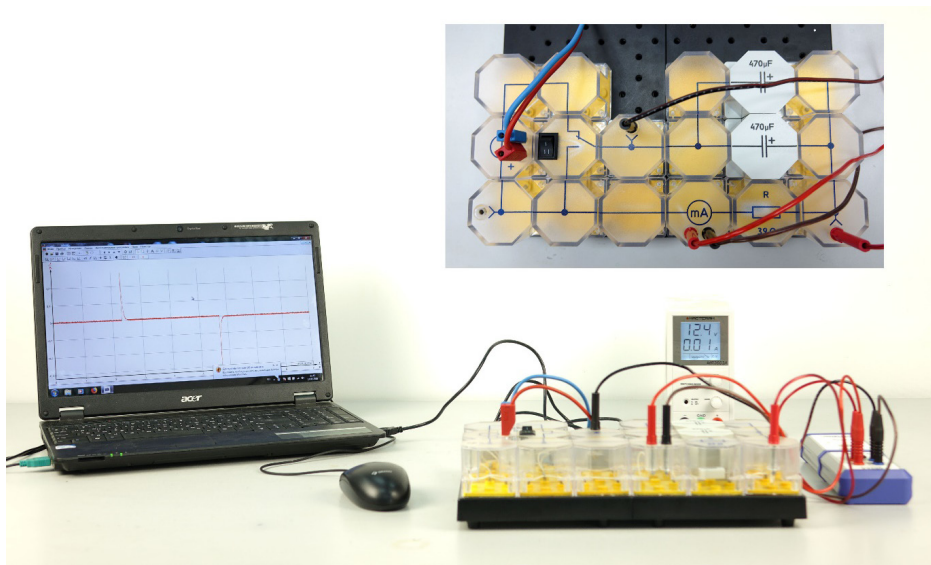


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Основною характеристикою конденсатора є його електрична ємність, що характеризує здатність конденсатора накопичувати електричний заряд. У позначенні конденсатора фігурує значення номінальної ємності, в той час як реальна ємність може відрізнитися. Реальна ємність конденсатора визначає його електричні властивості. За означенням, ємність визначається відношенням заряду на обкладинці до різниці потенціалів між обкладинками:

$$C = \frac{q}{U} . \quad (1)$$

Для визначення величини заряду використовується процес заряджання та розряджання конденсатора через резистор. Як відомо, струм є похідною від заряду, взятою по часу, а заряд відповідно визначається як інтеграл від зміни струму. Взяття інтеграла на певному проміжку часу можливе за умови побудови графічної залежності струму від часу з використанням інструментів, вбудованих у програмне забезпечення ЦВК. Тому процес заряджання та розряджання конденсатора супроводжується неперервним процесом вимірювання струму та напруги в колі. Значення різниці потенціалів,




необхідне для розрахунків, визначається як максимальне значення напруги на обкладинках конденсатора у процесі заряджання.

### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання даних

1. Складіть електричне коло, представлене на рис. 1. Для ефективного проведення експерименту необхідно дібрати конденсатори значної ємності. У цьому випадку використовуються 2 конденсатори з номіналом 470 мкФ. Для впевненої реєстрації струму датчиком добирається резистор опором 49 Ом. Живлення здійснюється джерелом стабілізованої напруги 12 В.
2. З'єднайте джерело струму з електричним колом і під'єднайте датчик струму та напруги до ЦВК. З'єднайте ЦВК з ПК та запустіть програмне забезпечення.
3. Запрограмуйте ЦВК вимірювати необмежену кількість даних і встановіть частоту замірів 2000 замірів на секунду (значення частоти за замовчуванням).
4. Увімкніть запис даних. За допомогою перемикача увімкніть електричне коло у режим заряджання конденсатора і через декілька секунд перемикачі на розряджання. Коли значення напруги стабілізується, вимкніть запис даних.
5. Якщо можливості провести експеримент немає, завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

#### Частина 2. Аналіз даних

6. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phyuwe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
7. У графічному вікні розташовані два графіки. На початку оптимізуйте масштаб, для чого оберіть у верхньому меню кнопку «Приладжування» .
8. Оскільки вимірювання здійснювалося двома датчиками, на екрані є два графіки. Перемикання між каналами даних здійснюється кнопками .
9. Оберіть канал запису значень напруги і у верхньому меню – кнопку «Огляд» . У вікні графіка з'явиться рамка, розміри якої можна змінювати перетягуванням за кутки. Прилаштуйте розмір і позицію рамки так, щоб верхній її край торкався верхньої частини графіка, що відповідає максимальній напрузі, а нижній край – мінімальній напрузі (рис. 2).
10. Зчитайте у вікні поряд з рамкою значення максимальної напруги  $U$  і занотуйте його до таблиці.

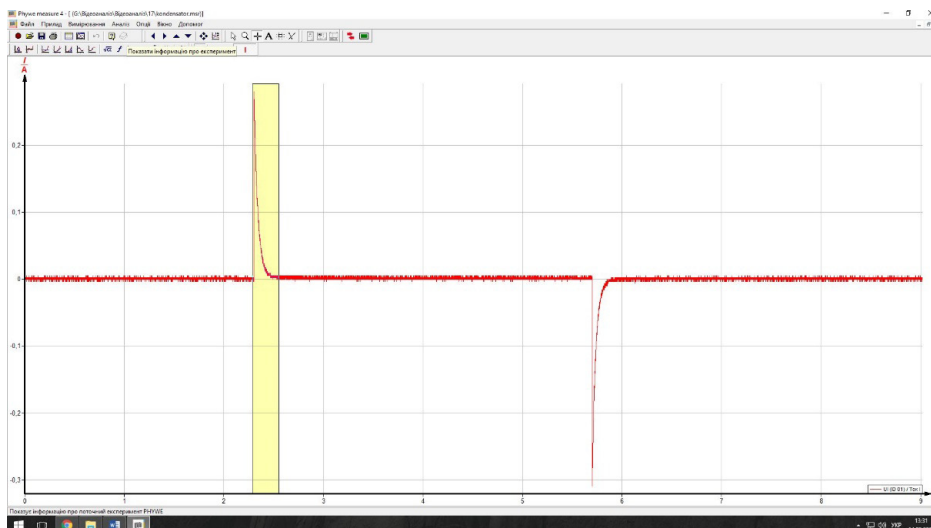

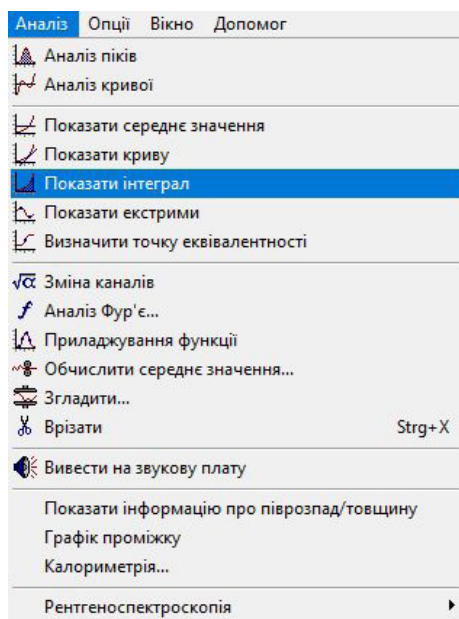


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрана з графіком зміни струму і виділенням піку



11. Вимкніть канал запису значень напруги та увімкніть канал запису значень струму.
12. Оберіть кнопку «Виділити»  і виділіть рамкою пік зростання струму.
13. Оберіть у верхньому меню «Аналіз» – «Показати інтеграл».



14. Зчитайте значення заряду  $q_1$  та занотуйте його до таблиці.
15. Повторіть дії для піку розряджання конденсатора, зчитайте значення заряду  $q_2$  та занотуйте до таблиці.
16. Розрахуйте середнє значення заряду  $q_{cp}$  і за формулою (1) – значення ємності конденсатора  $C$ . Занотуйте значення до таблиці. Порівняйте отримане значення з номінальним.
17. Проаналізуйте впливові фактори, що визначають похибку вимірювань, і сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

Максимальна напруга, $U(B)$	Значення заряду в процесі заряджання, $q_1 (Кл)$	Значення заряду в процесі розряджання, $q_2 (Кл)$	Середнє значення заряду, $q_{cp} (Кл)$	Розрахована ємність конденсатора, $C (мкФ)$	Номінальна ємність конденсатора, $C_n (мкФ)$

## Лабораторна робота № 24.

### Визначення температурного коефіцієнта опору напівпровідника

**Мета роботи:** експериментально визначити вираз для температурного коефіцієнта питомого опору напівпровідника та ширину забороненої зони.

#### Завдання роботи:

1. Провести експеримент зі зразком напівпровідника.
2. Зафіксувати процес зміни струму, напруги і температури за допомогою ЦВК.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, побудувати графік температурної залежності опору зразка, розрахувати значення ширини забороненої зони та записати вираз для температурного коефіцієнта питомого опору.

**Обладнання:** досліджуваний зразок, електричне коло, представлене на рис. 1, два джерела живлення, датчики температури, струму та напруги, ЦВК, ПК.

#### Загальні відомості

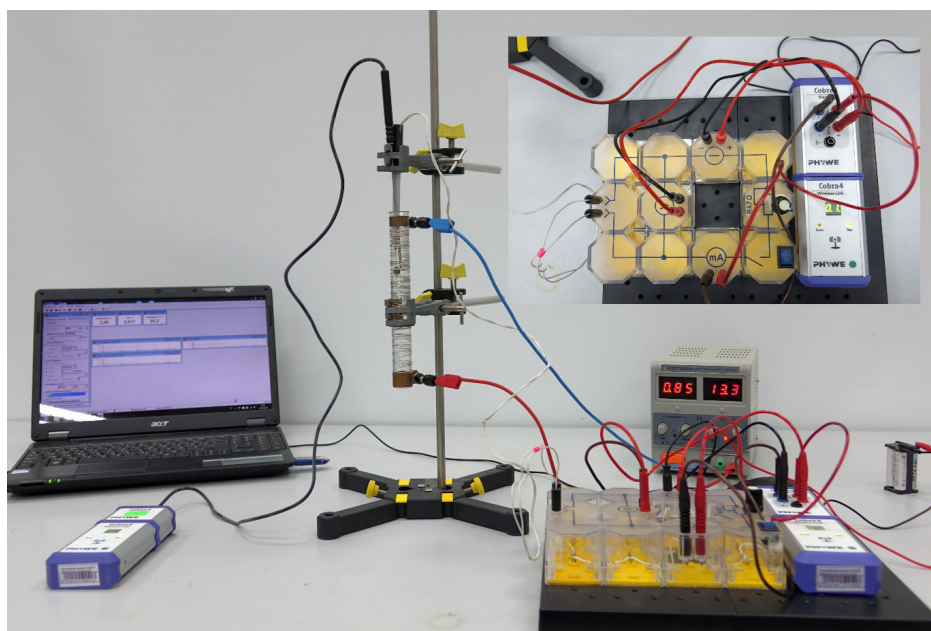


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Напівпровідники – це речовини, які за своєю електропровідністю займають проміжне положення між металами і діелектриками. До основних властивостей напівпровідників належать такі: 1) електропровідність і концентрація носіїв струму суттєво залежать від зовнішніх факторів (температури, опромінення тощо); 2) зростання температури призводить до зростання провідності і зменшення опору.

Температурна залежність опору напівпровідників виражається виразом:

$$R = R_0 e^{\left(\frac{W_A}{2kT}\right)}, \quad (1)$$

де  $R$  – опір зразка за температури  $T$ ;  $R_0$  – деякий коефіцієнт, сталий у вузькому діапазоні температур;  $W_A$  – енергія активації провідності. Енергія активації провідності дорівнює ширині забороненої зони

напівпровідника  $\Delta E$ . Температурним коефіцієнтом питомого опору напівпровідника називається величина, що дорівнює:

$$\alpha_{\rho} = -\frac{\Delta E}{2kT^2} \quad (2)$$


Для визначення зазначених величин необхідно отримати табличну залежність опору зразка напівпровідника від температури за допомогою ЦВК; інструментами математичних таблиць побудувати графічну залежність опору та за лінією тренду отримати ширину забороненої зони; за шириною забороненої зони записати вираз для температурного коефіцієнта питомого опору напівпровідника.

## Хід роботи

### Частина 1. Отримання даних

1. Складіть електричне коло, представлене на рис. 1. Для ефективного проведення експерименту в коло необхідно помістити регульований опір. Напряга на колі, в яке вміщено зразок напівпровідника, має бути в межах 5 В. Живлення кола нагрівника здійснюється джерелом регульованої напруги.
2. З'єднайте джерело струму з електричним колом, під'єднайте датчик струму і напруги до ЦВК. Помістіть датчик температури в нагрівник поряд зі зразком напівпровідника. З'єднайте ЦВК з ПК та запустіть програмне забезпечення.
3. Запрограмуйте ЦВК вимірювати необмежену кількість даних і встановіть частоту замірів – 2 заміри на секунду.
4. Увімкніть запис даних. Увімкніть електричне коло нагрівника і зразка. Коли значення температури зразка досягне 50–60°C, вимкніть запис даних.
5. Якщо можливості провести експеримент немає, завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

### Частина 2. Аналіз даних

6. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phyuwe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі (рис. 2).
7. У графічному вікні розташовані три графіка. Оберіть табличне представлення інформації, натиснувши у верхньому меню кнопку «Таблиця даних» .
8. Скопіюйте дані таблиці в буфер та переписіть їх у математичні таблиці.

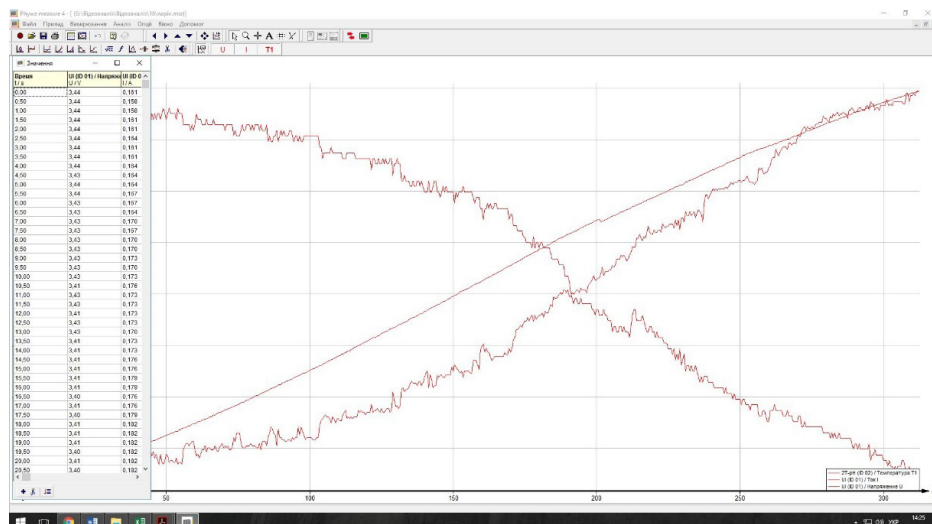


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрану з графіками струму, напруги і температури

9. Використовуючи інструменти математичних таблиць, перерахуйте температуру в шкалу абсолютних температур і побудуйте графік  $R(1/T)$ .
10. Побудуйте лінію тренду як графік експоненціальної функції і визначте значення показника.
11. За виразом (1) розрахуйте енергію активації, що дорівнює ширині забороненої зони.
12. Використовуючи вираз (2), запишіть рівняння для коефіцієнта питомого опору напівпровідника.
13. Проаналізуйте впливові фактори, що визначають похибку вимірювань, і сформулюйте висновок до роботи.

## Лабораторна робота № 25. Дослідження явища електромагнітної індукції

**Мета роботи:** дослідити явище електромагнітної індукції.

**Завдання роботи:**

1. Провести декілька експериментів із магнітом, який падає крізь котушку.
2. Зафіксувати процес зміни напруги за допомогою ЦВК.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, побудувати графік залежності ЕРС та магнітозчеплення від швидкості руху магніту.

**Обладнання:** штатив, котушка, джерело живлення, скляна трубка, магніт, ЦВК, ПК.

### Загальні відомості

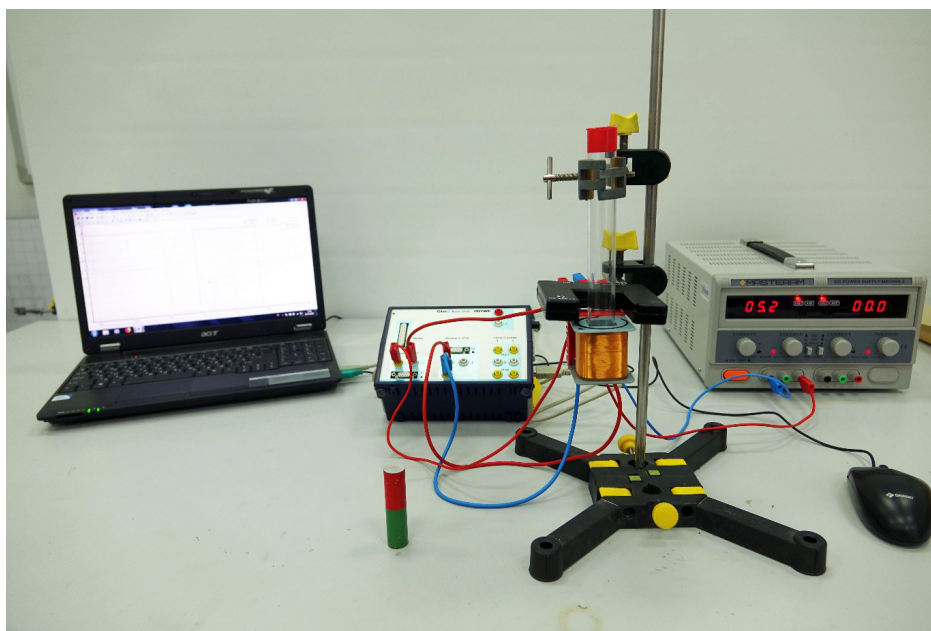


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Явище електромагнітної індукції полягає у виникненні ЕРС індукції у замкнутому контурі при зміні магнітного потоку, що його перетинає. Магнітний потік у роботі створюється магнітом, що падає і проходить крізь витки котушки, замкнутої на вимірник напруги в ЦВК. Фінальна величина ЕРС визначається законом:

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість витків у котушці;  $\Delta\Phi$  – зміна магнітного потоку через один виток. Зміна магнітного потоку через усі витки котушки називається зміною магнітозчеплення і позначається  $\Delta\Psi$ . Вона визначається згідно із законом електромагнітної індукції за виразом:

$$\Delta\Psi = \int \varepsilon_i \Delta t. \quad (2)$$

Зміну магнітозчеплення визначають площею фігури між графіком зміни ЕРС індукції з часом та віссю абсцис, яку легко отримати математичними засобами програмного забезпечення. Швидкість руху магніту крізь котушку можна визначити, знаючи довжину магніту і час його проходження крізь котушку:

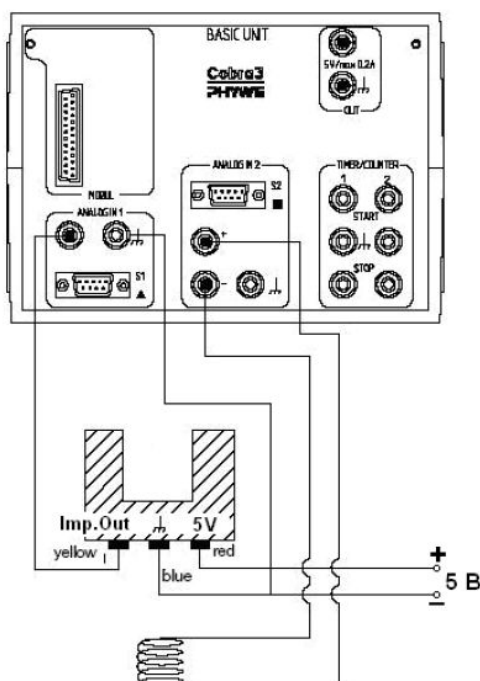
$$v = \frac{l}{\Delta t}. \quad (3)$$

У завданнях роботи зазначено, що потрібно провести декілька експериментів із різною швидкістю падіння магніту. Це можна забезпечити, кидаючи його з різної висоти. Час проходження магніту визначається часом, що фіксують фоторота, теж з'єднані з ЦВК. ЕРС індукції дорівнює напрузі, що виникає на котушці й вимірюється ЦВК.

### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання даних

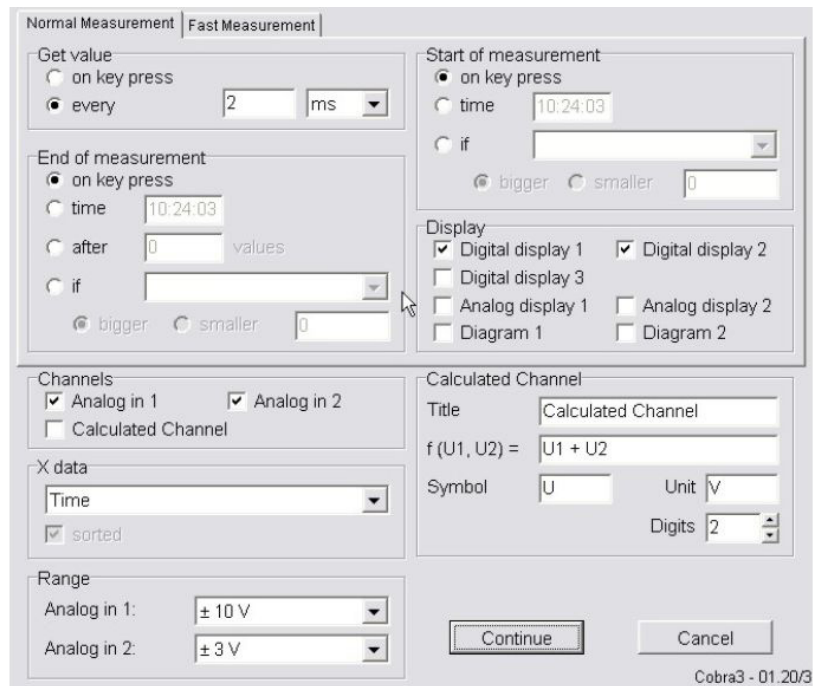
1. Складіть електричне коло, представлене на схемі.



Для проведення експерименту необхідно стабілізоване джерело напруги. Виставте напругу живлення фоторотів 5 В.

2. Закріпіть у штативі скляну трубку з котушкою. Над котушкою закріпіть фоторота. Відрегулюйте положення трубки так, щоб магніт міг вільно рухатися, падаючи крізь трубку.
3. З'єднайте ЦВК з ПК та запустіть програмне забезпечення. Оберіть у програмі прилад – «Універсальний вимірювач».

4. У вікні програми оберіть такі налаштування:



5. Розташуйте магніт на першій обраній висоті, увімкніть запис даних і вільно відпустіть магніт. Коли магніт впаде, вимкніть запис даних і передайте їх на опрацювання.
6. Проведіть такі самі дії, змінюючи висоту кидання магніту.
7. Якщо можливості провести експеримент немає, завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

### Частина 2. Аналіз даних

8. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phywe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
9. На екрані збережено вікна графіків, що відповідають усім дослідом.
10. Оберіть одне вікно. У графічному вікні розташовані два графіки (рис. 2).

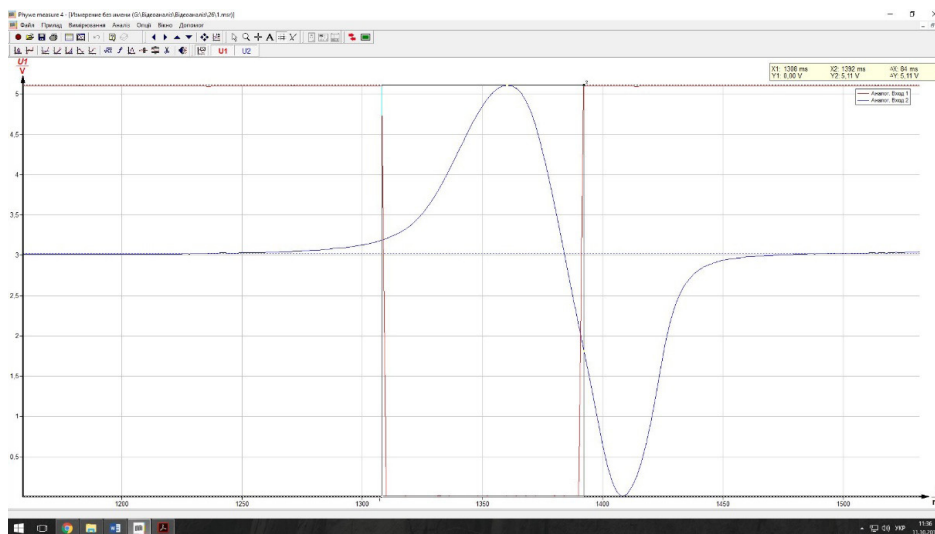


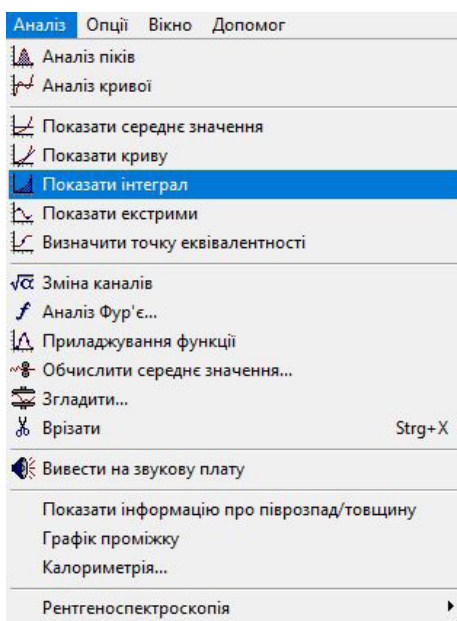


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрана з графіками напруги і фіксацією часу фототоротами

11. Оберіть інструмент «Огляд» . Виділіть рамкою цього інструменту імпульс на графіку часу руху магніту. Зчитайте значення цього часу в рамці поряд і занесіть його до таблиці.
12. Виділіть рамкою імпульс напруги і визначте середнє значення ЕРС протягом цього імпульсу. Занотуйте значення ЕРС до таблиці.
13. Інструментом «Виділення»  відзначте першу частину імпульсу напруги на котушці. Оберіть у вкладинці «Аналіз» – «Показати інтеграл».



Зчитайте значення інтеграла і занотуйте до таблиці. Це значення магнітозчеплення  $\Psi_1$ . Повторіть дії з другою частиною імпульсу напруги. Це значення магнітозчеплення  $\Psi_2$ .

14. Розрахуйте середнє значення магнітозчеплення і занотуйте до таблиці.
15. Виміряйте довжину магніту  $l$  та, користуючись виразом (3), розрахуйте швидкість руху магніту. Занотуйте значення до таблиці.
16. Повторіть усі дії аналізу для решти дослідів.
17. Перенесіть табличні значення до математичних таблиць і побудуйте інструментами математичних таблиць графіки  $\varepsilon(v)$  та  $\Delta\Psi(v)$ .
18. Проаналізуйте впливові фактори, що визначають похибку вимірювань, і сформулюйте висновок до роботи.

**Таблиця результатів**

Час руху магніту в котушці, $t(c)$	Значення ЕРС, $\varepsilon (B)$	Значення магнітозчеплення, $\Psi_1 (B \cdot c)$	Значення магнітозчеплення, $\Psi_2 (B \cdot c)$	Середнє значення магнітозчеплення, $\Psi_c (B \cdot c)$	Швидкість руху магніту, $v (m/c)$



## Лабораторна робота № 26.

### Дослідження електричних кіл із нелінійними елементами

**Мета роботи:** дослідити нелінійні елементи електричних кіл.

**Завдання роботи:**

1. Провести експерименти з елементами електричних кіл, що мають нелінійну вольт-амперну характеристику.
2. Зафіксувати процес зміни струму зі зміною напруги за допомогою ЦВК.
3. Інструментами програмного забезпечення отримати ВАХ усіх елементів та з'ясувати особливості цих характеристик.

**Обладнання:** набірна панель, лампа розжарювання, діод, світлодіод, модуль функціонального генератора, ЦВК, ПК.

#### Загальні відомості

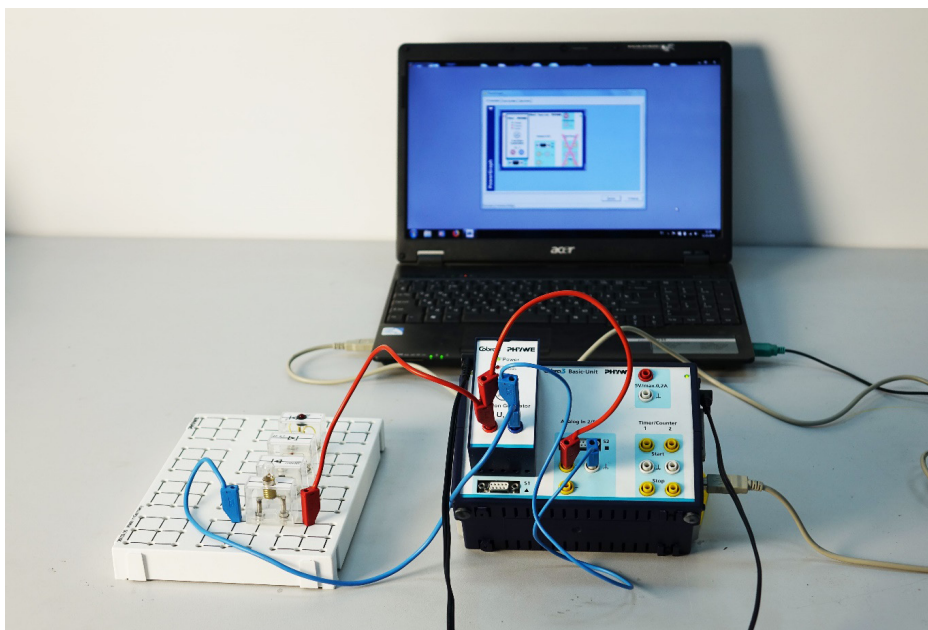


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Електричні кола можуть містити елементи, параметри яких залежать від прикладеної напруги  $U$ . Зі зміною прикладеної напруги може змінюватися струм, який проходить крізь елементи за складним законом, не підпорядкованим лінійній функції. Такі елементи називаються нелінійними. До них належать напівпровідникові діоди, транзистори тощо.

Основною характеристикою нелінійних елементів, за якою роблять висновок про їхні електричні властивості, є залежність струму від напруги. Її називають вольт-амперною характеристикою (ВАХ). Оскільки теоретично розрахувати залежність не можна, цю характеристику визначають експериментально.

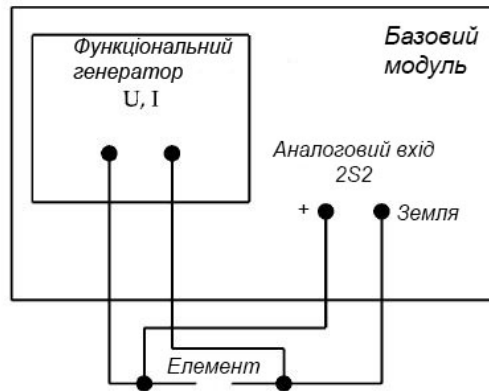
У завданнях роботи зазначено, що потрібно провести експерименти з елементами електричних кіл, що мають нелінійну ВАХ, і побудувати графік залежності струму, який проходить крізь них, від прикладеної напруги. Виконати це завдання можна, увімкнувши елемент у коло, в якому буде плавно змінюватися прикладена напруга (автоматично або в ручному режимі). Або це можна забезпечити, використовуючи особливий модуль, приєднаний до ЦВК, – функціональний генератор. Функція цього приладу полягає в

тому, щоб плавно із заданим періодом покроково збільшувати прикладену до елемента напругу. Базовий модуль ЦВК фіксує значення прикладеної напруги і струм, що проходить крізь елемент.

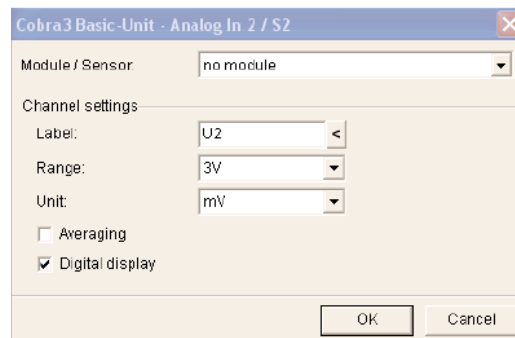
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання даних

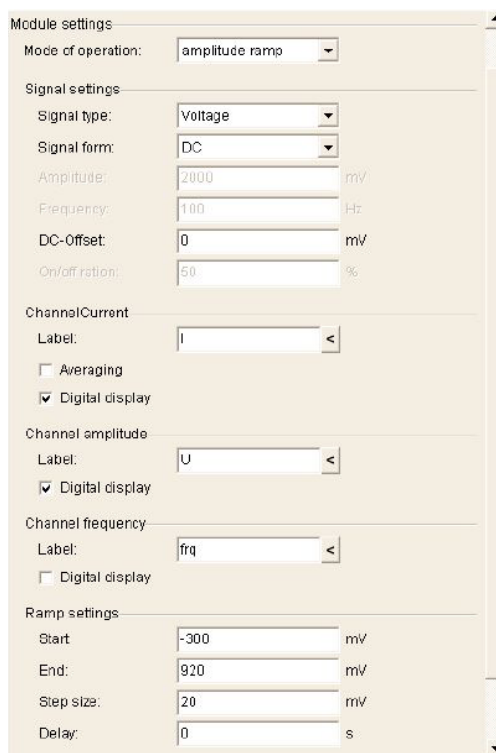
1. Приєднайте до ЦВК модуль функціонального генератора і живлення до нього.
2. Складіть електричне коло за схематичним зображенням.



3. Як перший елемент приєднайте напівпровідниковий діод.
4. Запустіть програму і як прилад оберіть Power Graph. Запустіть налаштування. У вікні програми оберіть зображення аналогового входу 2S2.
5. У вікні аналогового входу оберіть такі налаштування:



6. Оберіть зображення модуля функціонального генератора і введіть такі налаштування:



7. Оберіть «Ок» і запустіть процес вимірювань. Процес вимірювань відбувається автоматично із кроковим збільшенням напруги та вимірюванням струму. Завершіть процес вимірювань, коли напруга досягне максимального значення, вказаного в рамці «Кінцева напруга». Передайте виміри на опрацювання.
8. По черзі змініть досліджувані елементи і виконайте попередні дії. Для світлодіода і для лампи розжарювання кінцеву напругу доберіть згідно з параметрами цих елементів.
9. Якщо можливості провести експеримент немає, завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

### Частина 2. Аналіз даних

10. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phywe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
11. На екрані збережено вікна графіків, що відповідають усім дослідом.
12. Оберіть вікно, що відповідає напівпровідниковому діоду. У графічному вікні розташовані два графіки: струму і напруги.

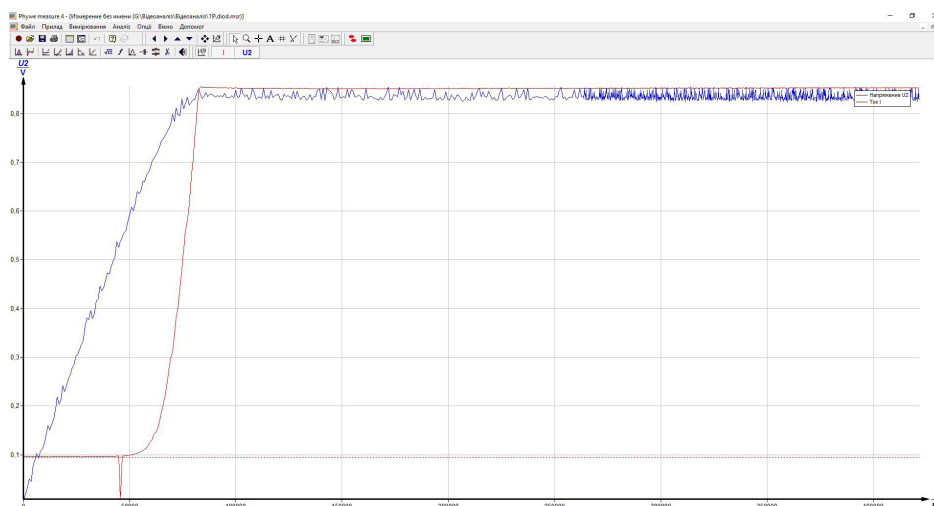

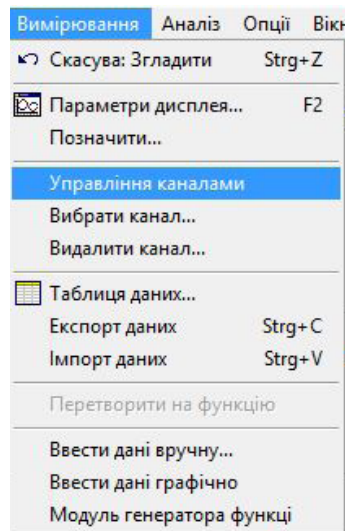
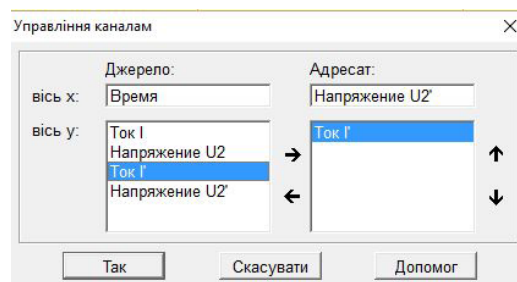


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрана з графіками напруги і струму

13. Оберіть один із каналів, перемикаючись кнопками **U** **I** у верхній частині меню. Оберіть інструмент «Згладжування»  і доберіть середній рівень згладжування. Виконайте дію згладжування для іншого графіка (рис. 2).
14. Оберіть у верхньому меню «Вимірювання» – «Управління каналами».



15. У вікні, що з'явиться, за допомогою кнопок керування встановіть відповідність осей.



16. Отримайте остаточний вигляд графіка залежності струму від напруги і збережіть результат.
17. Повторіть усі дії аналізу для решти дослідів.
18. Проаналізуйте отримані графіки і сформулюйте висновок до роботи.

## Лабораторна робота № 27. Вимірювання індуктивності котушки

**Мета роботи:** експериментально визначити значення індуктивності котушки.

**Завдання роботи:**

1. Провести експеримент із котушкою індуктивності, пропускаючи постійний і змінний струм.
2. Зафіксувати процес зміни струму та напруги за допомогою ЦВК.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, розрахувати значення індуктивності котушки.

**Обладнання:** електричне коло, представлене на рис. 1, джерело живлення змінної напруги, джерело живлення стабілізованої постійної напруги, датчики струму та напруги, ЦВК, ПК.

### Загальні відомості

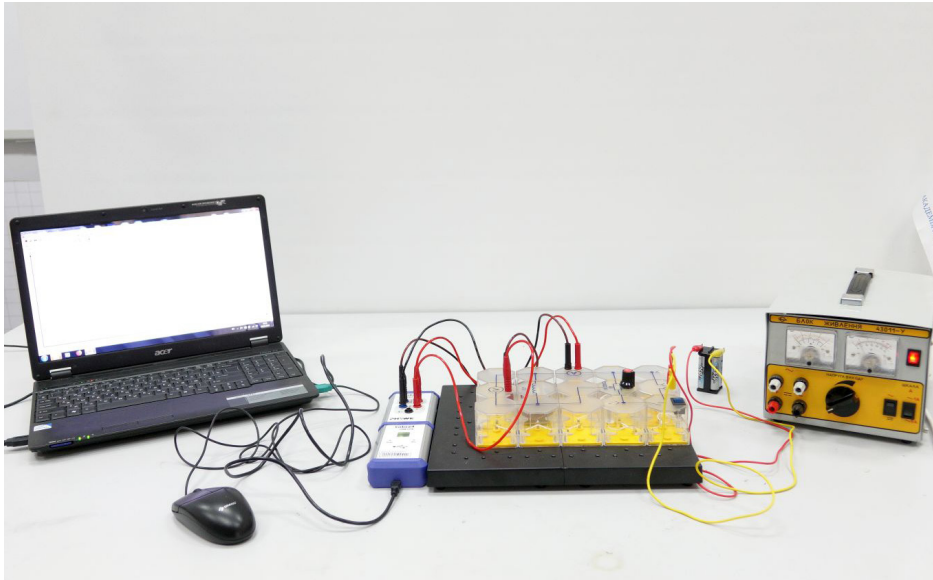


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Котушка індуктивності в електричному ланцюзі для змінного струму має не тільки власне омичний опір, а й реактивний опір змінному струму, який наростає при збільшенні частоти, оскільки при зміні струму в котушці виникає ЕРС самоіндукції, що перешкоджає цій зміні.

Котушка індуктивності має реактивний опір, модуль якого:

$$\chi_L = \omega L, \quad (1)$$

де  $L$  – індуктивність котушки;  $\omega$  – циклічна частота струму, що протікає.

У ланцюзі змінного струму повний опір котушки дає можливість визначити індуктивність:



$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi\nu}, \quad (2)$$

де  $Z$  – повний опір кола. Повний опір кола визначається відношенням максимальної напруги до максимального струму. Омичний опір визначається відношенням напруги до струму при проходженні через котушку постійного струму.


**Хід роботи****Частина 1. Отримання даних**

1. Складіть електричне коло, представлене на рис. 1, під'єднавши послідовно з котушкою модуль амперметра і паралельно до котушки – модуль вольтметра.
2. З'єднайте джерело постійного струму з електричним колом. Під'єднайте датчик струму та напруги до ЦВК. З'єднайте датчик струму та напруги з електричним колом та ЦВК з ПК і запустіть програмне забезпечення.
3. Запрограмуйте ЦВК вимірювати необмежену кількість даних і встановіть частоту замірів – 10 замірів на секунду.
4. Увімкніть запис даних. Замкніть електричне коло ключем. Через декілька секунд вимкніть запис даних.
5. Розімкніть коло та замініть джерело постійної напруги на джерело змінної напруги.
6. Запрограмуйте ЦВК вимірювати 200 даних і встановіть частоту замірів 1000 замірів на секунду.
7. Якщо можливості провести експеримент немає, завантажте дані вимірювань з [ресурсу](#).

**Частина 2. Аналіз даних**

8. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phyuwe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
9. На початку проаналізуйте графіки, що відповідають проходженню постійного струму. У графічному вікні розташовані два графіки.
10. Оскільки вимірювання здійснювалося двома датчиками, на екрані є два графіки. Перемикання між каналами даних здійснюється кнопками .
11. Оберіть канал запису значень напруги і у верхньому меню – кнопку «Середнє значення» . Зчитайте його та занотуйте до таблиці. Перемкніться на канал струму і зробіть аналогічні дії.
12. Розрахуйте омичний опір за виразом:

$$R = \frac{U_c}{I_c} .$$

13. Перейдіть до графіків, що відповідають проходженню змінного струму. Оберіть канал запису значень напруги і у верхньому меню – кнопку «Огляд» . У вікні графіка з'явиться рамка, розміри якої можна змінювати перетягуванням за кутки. Прилаштуйте розмір і позицію рамки так, щоб верхній її край торкався верхньої частини графіка, що відповідає максимальній напрузі, а нижній край – мінімальній напрузі (рис. 2).
14. У рамці поряд зчитайте значення розмаху напруги, поділіть його навпіл та занотуйте до таблиці як максимальне значення напруги  $U_{max}$ . Перемкніться на канал струму і зробіть аналогічні дії.
15. Розрахуйте повний опір за виразом:

$$Z = \frac{U_{max}}{I_{max}} .$$

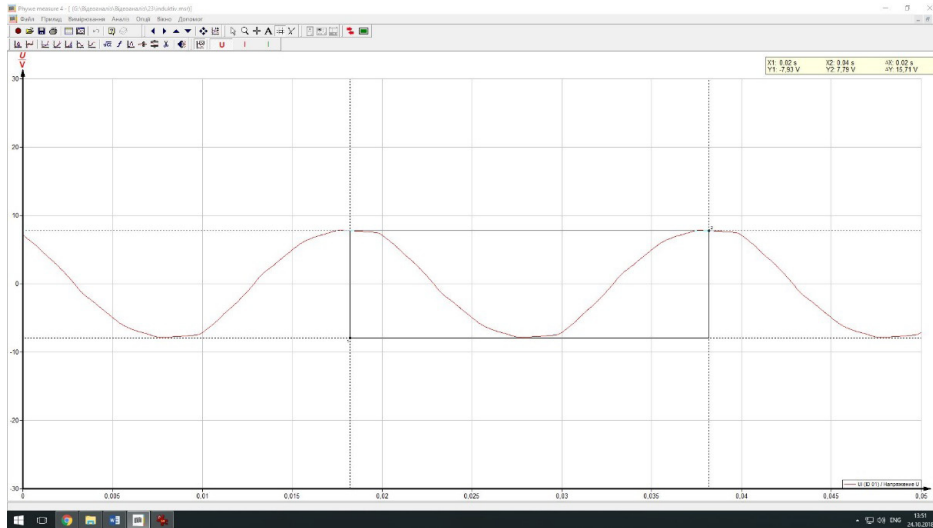


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрана з графіком зміни напруги і визначенням розмаху

16. Розрахуйте індуктивність котушки за виразом (2). Занотуйте значення до таблиці. Проаналізуйте впливові фактори, що визначають похибку вимірювань, та сформулюйте висновок до роботи.

### Таблиця результатів

Значення напруги за постійного струму, $U_c(B)$	Значення струму в котушці, $I_c(A)$	Значення омичного опору, $R(Ом)$	Значення максимальної напруги за змінного струму, $U_{max}(B)$	Значення максимального струму, $I_{max}(A)$	Значення повного опору, $Z(Ом)$	Значення індуктивності котушки, $L(Гн)$





розраховується значення синусів кутів, показника заломлення для кожного кута падіння і середнє значення показника заломлення.

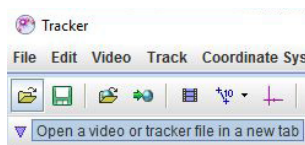
## Хід роботи

### Частина 1. Отримання відеозапису

1. Установіть на столі магнітну дошку.
2. Закріпіть на дошці прозорий півциліндр.
3. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати відеозйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення. Використайте стандартну частоту зйомки відео (30–60 кадрів на секунду).
4. Установіть пристрій так, щоб установка повністю потрапляла в кадр і в процесі зйомки пристрій не рухався.
5. Увімкніть лазерну указку і спрямуйте промінь на плоску грань півциліндра у середину грані. Переміщуйте лазерну указку так, щоб промінь продовжував потрапляти в попередню точку, але кут падіння змінювався.
6. Якщо можливості здійснити відеозапис немає, завантажте готове відео з [ресурсу](#).

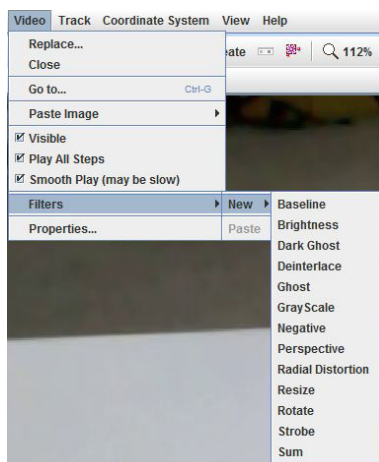
### Частина 2. Опрацювання відео

7. Завантажте перше відео у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



Також можна «перетягнути» файл запису у вікно програми або завантажити його через меню File → Import → Video. Якщо програма не змогла завантажити відео, необхідно дібрати інший його формат за допомогою редакторів відео.

8. Використовуючи кнопки керування в нижній частині вікна з відео, перегляньте запис.
9. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.





## Лабораторна робота № 29. Дослідження кілець Ньютона

**Мета роботи:** розрахувати радіус кривизни лінзи за вимірюваннями радіусів кілець Ньютона, проведеними інструментами програми для аналізу відеозаписів.

### Завдання роботи:

1. Створити ряд світлин кілець Ньютона за різної довжини хвилі світла, що падає.
2. За допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів побудувати залежність квадрата радіуса кільця від його порядкового номера.
3. Інструментами математичних таблиць розрахувати середнє значення радіуса кривизни поверхні лінзи.

**Обладнання:** біноклярний мікроскоп, лінза на плоскій поверхні в оправі, освітлювач із вузькосмуговим світлофільтром, ПК, цифровий фотоапарат або відеокамера.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>), Excel.

### Загальні відомості

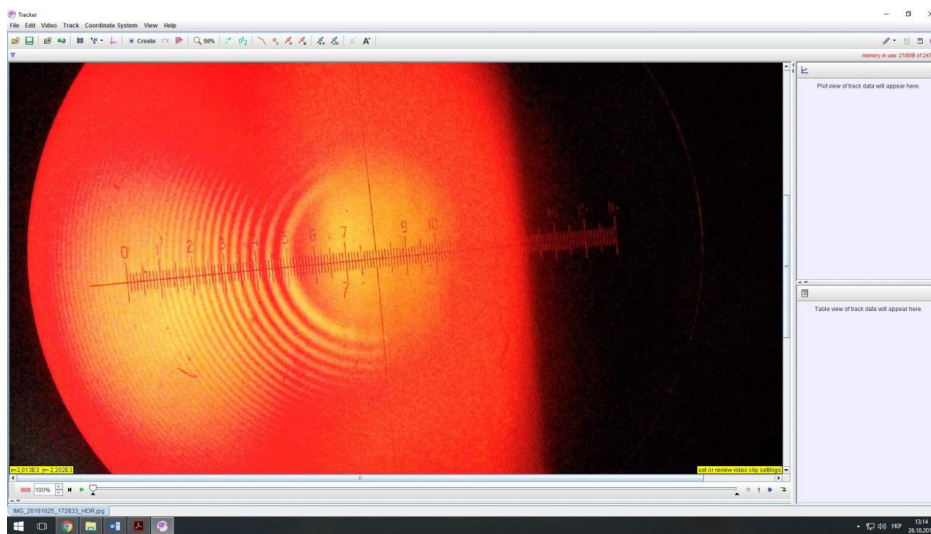


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Утворення кілець Ньютона є доказом хвильових властивостей світла. Ці кільця є інтерференційною картиною, яка спостерігається при накладанні когерентних променів. Когерентні промені утворюються за рахунок відбиття одного і того самого променя від двох поверхонь – викривленої поверхні опуклої лінзи і плоскої поверхні скла, на якій вона розташована. Оскільки опукла поверхня лінзи має форму, наближену до сферичної, інтерференційна картина набуває вигляду концентричних кілець із центром у точці дотику двох поверхонь (рис. 1). Математичний аналіз ходу променів при використанні відбитого світла дає змогу отримати залежність між номером темного кільця та його радіусом, яка виражена у формулі:

$$r_m^2 = R\lambda m, \quad (1)$$

де  $r_m$  – радіус темного кільця з порядковим номером  $m$ ;  $R$  – радіус кривизни поверхні лінзи;  $\lambda$  – довжина хвилі світла, яке падає (зазначається на світлофільтрі).

Установивши залежність квадрата радіуса від номера темного кільця і знаючи довжину хвилі світла, що падає, можна розрахувати радіус кривизни поверхні лінзи. Для більш точних розрахунків потрібно проаналізувати інтерференційні картини для різної довжини хвилі світла, що падає; це здійснюється з використанням освітлювача з вузькосмуговим світлофільтром. При проведенні вимірювань використовуються інструменти аналізу програмного забезпечення Tracker. Після отримання графіка залежності здійснюється апроксимація прямою, за рівнянням якої визначається значення добутку  $R\lambda$ . А знаючи довжину хвилі світла, що падає, можна розрахувати радіус кривизни лінзи інструментами математичних таблиць.

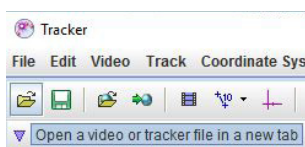
### Хід роботи

#### Частина 1. Отримання світлин

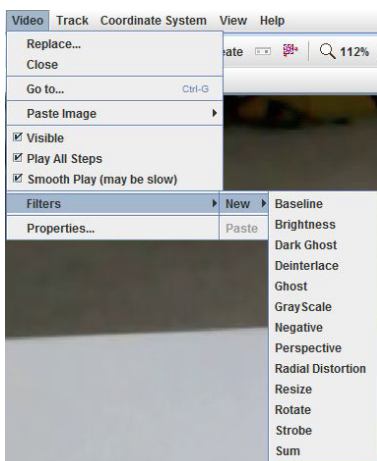
1. Установіть на столі біноклярний мікроскоп і замість одного окуляра закріпіть освітлювач із першим світлофільтром. Другий окуляр повинен містити шкалу, за якою буде розраховуватися радіус кілець.
2. Помістіть на столику мікроскопа лінзу на плоскому склі в оправі. Перевірте, чи утворюються кільця в місці контакту. Розмір плями має бути в межах 1–2 міліметрів.
3. Оберіть пристрій, яким ви будете виконувати зйомку. З'ясуйте якість об'єктива, щоб надалі врахувати можливі спотворення.
4. Увімкніть освітлювач і доберіть розміщення фотоапарата або відеокамери так, щоб було чітко видно кільця і шкалу. Доберіть оптимальну кратність збільшення об'єктива мікроскопа. Для нашого випадку виконання роботи використовувався об'єктив з кратністю  $4\times$ . Надалі для вимірювань за цієї кратності користуються тим, що ціна поділки шкали складатиме 0,025 мм.
5. Якщо можливості здійснити запис немає, завантажте готові світлини з [ресурсу](#).




#### Частина 2. Опрацювання світлин

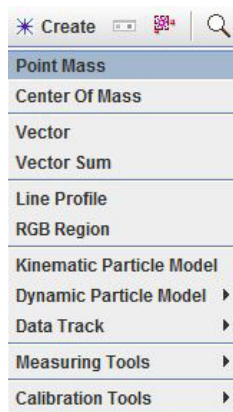
6. Завантажте першу світлину у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



7. Якщо об'єктив пристрою для зйомки дає спотворення зображення, використайте відповідний фільтр відео.



8. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show or hide the coordinate axes . На світлині з'являться осі координат. Центр системи координат перетягніть у точку, що якнайкраще відповідає ситуації. Наприклад, сумістіть її з центром кілець. Осі координат поверніть так, щоб вісь x проходила крізь кільця з найбільшою чіткістю на зображенні. Надалі відзначення позиції кілець буде проходити вздовж цієї осі.
9. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. У нашому випадку відстань від центра кілець до нульової поділки шкали 2 мм. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
10. Для маркування положення кілець оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



11. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
12. Оберіть зручний контрастний колір маркера для цієї світлини.
13. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з точкою в центрі й натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Для однієї світлини програмою передбачено виконання 8 кроків.
14. Повторіть дії до останнього кроку, дозволеного програмою. При цьому ви можете коригувати положення маркерів перетягуванням їх по екрану (рис. 2).

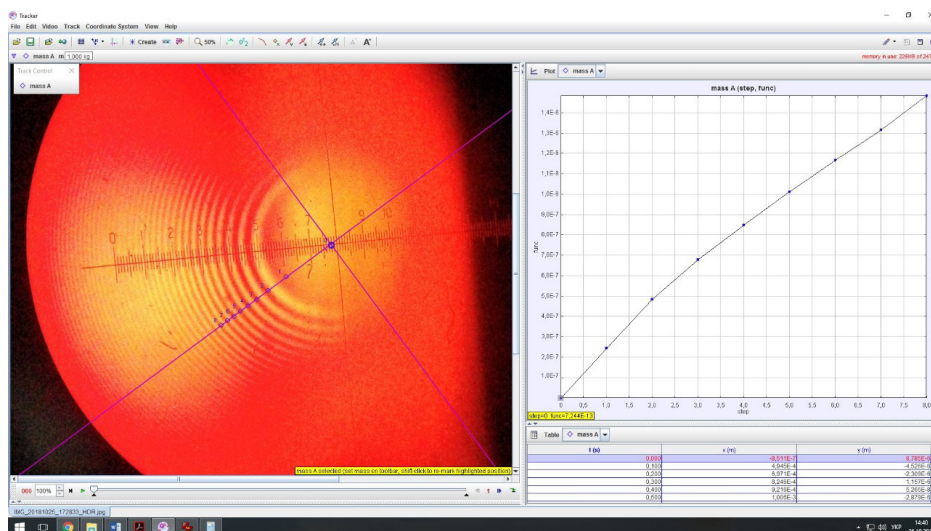
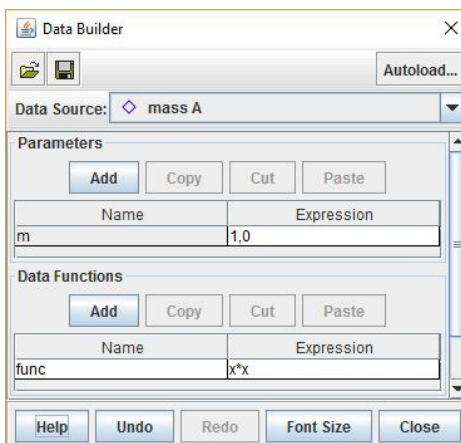


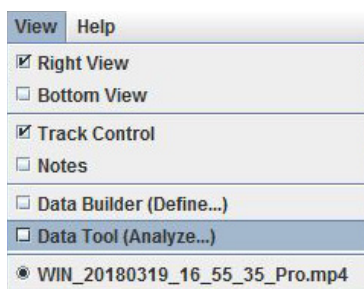
Рис. 2. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker після відзначення положення кілець і побудови графіка

## Частина 3. Аналіз даних

15. Перейдіть у графічне поле екрана і біля горизонтальної осі оберіть step.
16. Біля вертикальної осі у списку, що з'явиться, оберіть Define...
17. На екрані з'явиться вікно Data Builder. У цьому вікні необхідно в поличці Data function обрати Add і у стрічці функції ввести, обираючи із запропонованих змінних,  $x^*x$ .



18. Після того у підписі вертикальної осі потрібно обрати func. Отже, вертикальна вісь набуває значення  $r^2$ , а нижня вісь – номер кільця  $m$ .
19. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).



20. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 3).

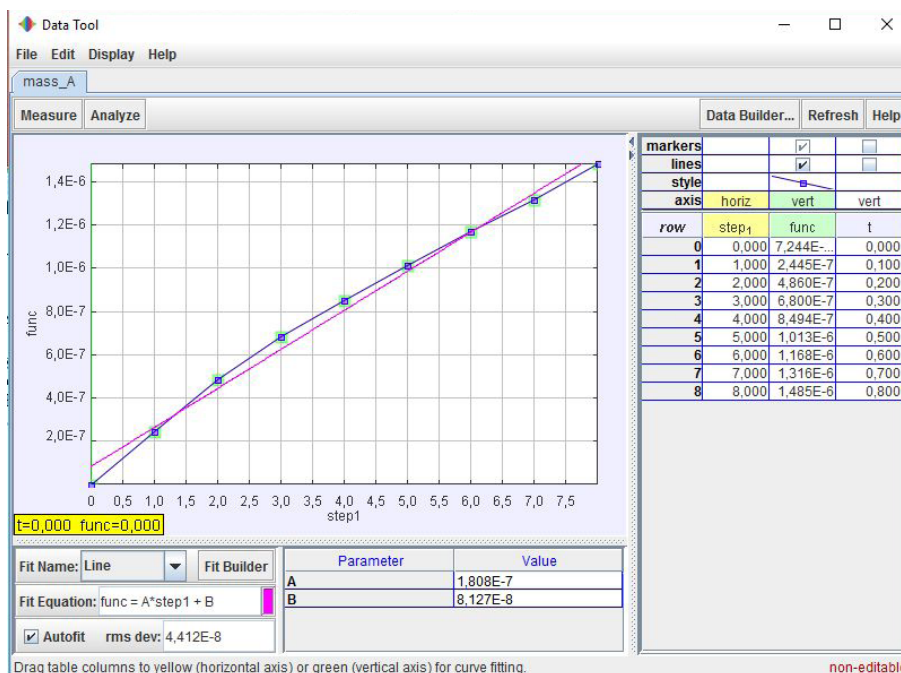


Рис. 3. Вигляд вікна Data Tool після накладання прямої

21. Оскільки графік  $\text{funk}(\text{step})$  є відрізком прямої, у загальному вигляді функція має запис  $f(x) = Ax + B$ . Бачимо, що коефіцієнт  $A = R\lambda$ . Для визначення цього коефіцієнта накладемо на графік пряму.
22. Оберіть вкладинку Analyse → Curve Fits та в нижній частині вікна Fit Name → Line. Поверх графіка руху з'явилася пряма, а під нею – значення коефіцієнтів. Зверніть увагу на те, щоб біля надпису Autofit обов'язково стояв маркер. Це означає, що програма самостійно добере положення прямої. Визначте добуток  $R\lambda$  і занотуйте до таблиці.
23. Повторіть усі кроки з опрацювання світлин й аналізу для інших світлин, зроблених з іншими фільтрами.
24. У математичних таблицях Excel побудуйте таблицю і виконайте всі необхідні розрахунки. Визначте середнє значення радіуса кривизни поверхні лінзи  $R_c$ .
25. Сформулюйте висновок до роботи.

Таблиця результатів

Довжина хвилі світла, яке падає $\lambda$ (м)	Добуток $R\lambda$ , ( $\text{м}^2$ )	Радіус кривизни поверхні лінзи, $R$ (м)	Середнє значення радіуса кривизни, $R_c$ (м)

## Лабораторна робота № 30.

### Визначення довжини світлової хвилі. Спостереження неперервного і лінійчатого спектрів речовини

**Мета роботи:** визначити довжини хвиль світла, що відповідають основним кольорам спектра, та отримати розподіл інтенсивності світла за довжинами хвиль для джерел, що дають лінійчаті спектри.

#### Завдання роботи:

1. За допомогою інструментів програмного забезпечення для обробки відеозаписів визначити довжини хвиль світла, що відповідають основним кольорам у неперервному спектрі.
2. За допомогою програмного забезпечення для аналізу відеозаписів побудувати графічну залежність інтенсивності випромінювання у лінійчатих спектрах від довжини хвилі.

**Обладнання:** ПК.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

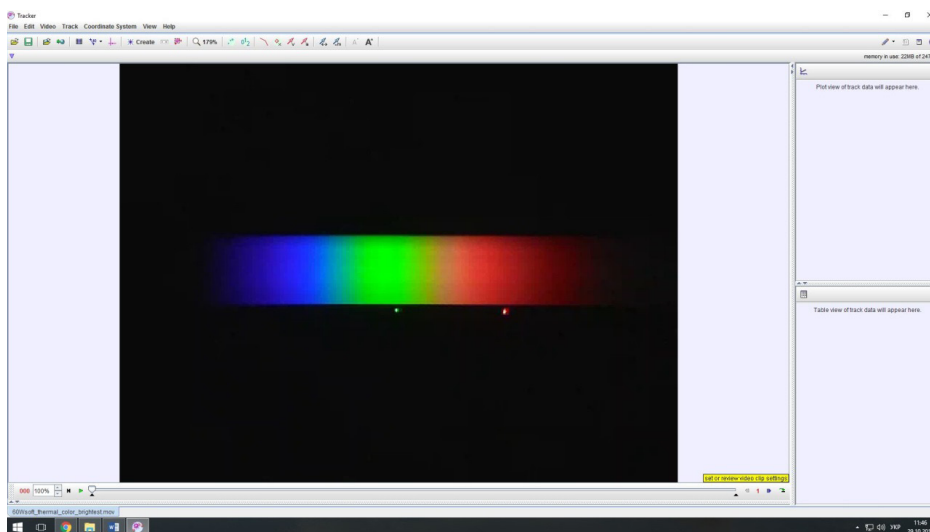


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Неперервний спектр – це спектр, у якому монохроматичні складові заповнюють без розривів усі інтервали хвиль. Характерними джерелами неперервного спектра є розігріті до високої температури тіла. У неперервному спектрі вирізняють сім основних кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий. У цій роботі пропонується визначити усереднену довжину хвилі світла, що відповідає кожному із цих кольорів.

Джерелом лінійчатих спектрів випромінювання є світні гази та розігріті до високої температури прості елементи. Відповідно і в неперервному спектрі, і в лінійчатих є розподіл інтенсивності випромінювання. Дослідження лінійчатого спектра пропонується провести у плані побудови графічної залежності інтенсивності випромінювання від довжини світлової хвилі. Цю залежність можна автоматично отримати за допомогою інструментів програми для опрацювання відеозаписів. Установка для отримання зображень спектрів є технологічно складною, тому в роботі пропонується використати готові зображення, які можна завантажити за посиланням: [http://physlets.org/tracker/download/spectroscopy\\_videos.zip](http://physlets.org/tracker/download/spectroscopy_videos.zip) На кожному зображенні наявні опорні калібрувальні плями від квантових генераторів, що працюють на частотах 543,5 нм і 632,8 нм.



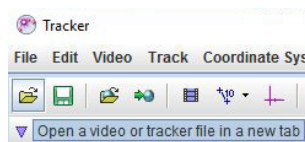
## Хід роботи



### Частина 1. Отримання світлин

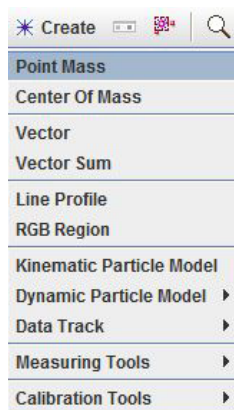
1. Завантажте готові світлини з ресурсу:  
[http://physlets.org/tracker/download/spectroscopy\\_videos.zip](http://physlets.org/tracker/download/spectroscopy_videos.zip).

### Частина 2. Опрацювання світлин

2. Оберіть світлину із зображенням неперервного спектра та завантажте у програму Tracker. Для цього скористайтеся кнопкою Open у верхньому меню програми.



3. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Points. На екрані з'явиться зображення системи координат; у верхній стрічці програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу калібрувальну точку. Оберіть у верхній стрічці в поличці назви координат X only. У верхній частині меню оберіть Coordinate System – Units. У поличці одиниць довжини введіть nm та закрийте вікно. Утримуючи клавішу Shift, позначте першу еталонну точку від квантового генератора на спектрі і другу точку. У верхній стрічці введіть значення довжин хвиль у nm для обох точок (543,5 nm, 632,8 nm). Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Калібрувальні точки зникнуть, але програма запам'ятає їхнє положення.
4. Для маркування положення кольорів оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Point Mass.



5. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
6. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з найвиразнішою частиною відповідного кольору й натисніть ліву кнопку маніпулятора. На зображенні з'явиться маркер точки, і програма автоматично перейде на наступний кадр. Для однієї світлини програмою передбачено виконання 8 кроків.
7. Повторіть дії до останнього кольору, дозволеного програмою. При цьому ви можете коригувати положення маркерів перетягуванням їх по екрану (рис. 2).

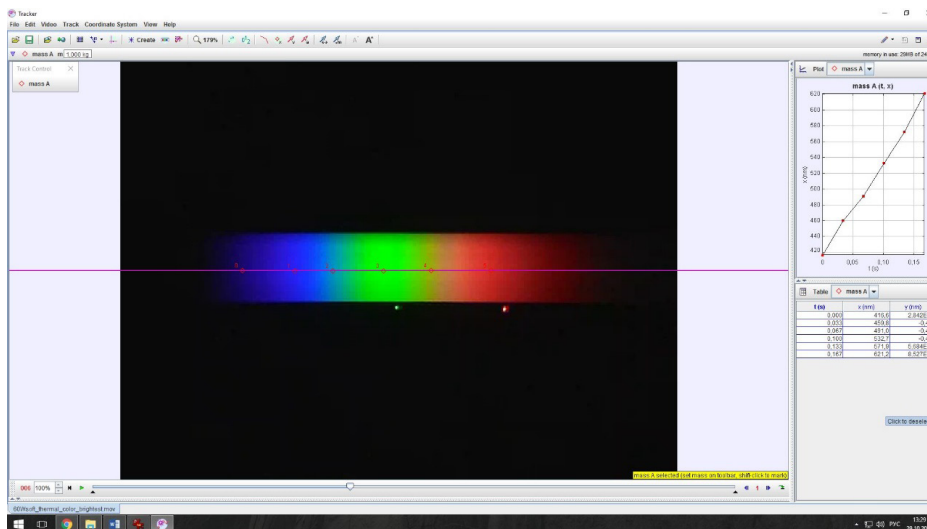


Рис. 2. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker після відзначення положення кольорових смуг у спектрі

### Частина 3. Аналіз даних

8. Перейдіть у табличне поле екрана, в колонці з координатою x зчитайте по черзі значення довжин хвиль та перенесіть їх до таблиці.
9. Завантажте світліну з лінійчатим спектром випромінювання, обравши її із запропонованого набору.
10. Для отримання розподілу інтенсивності за довжинами хвиль оберіть у верхньому меню кнопку Create і у меню – Line Profile. Утримуючи клавішу Shift, проведіть лінію по всьому спектру.
11. У графічному вікні з'явиться графік розподілу.
12. Оберіть у верхньому меню View → Data Tool (Analyze...).
13. З'явиться нове вікно Data Tool з графіком і таблицею (рис. 3).

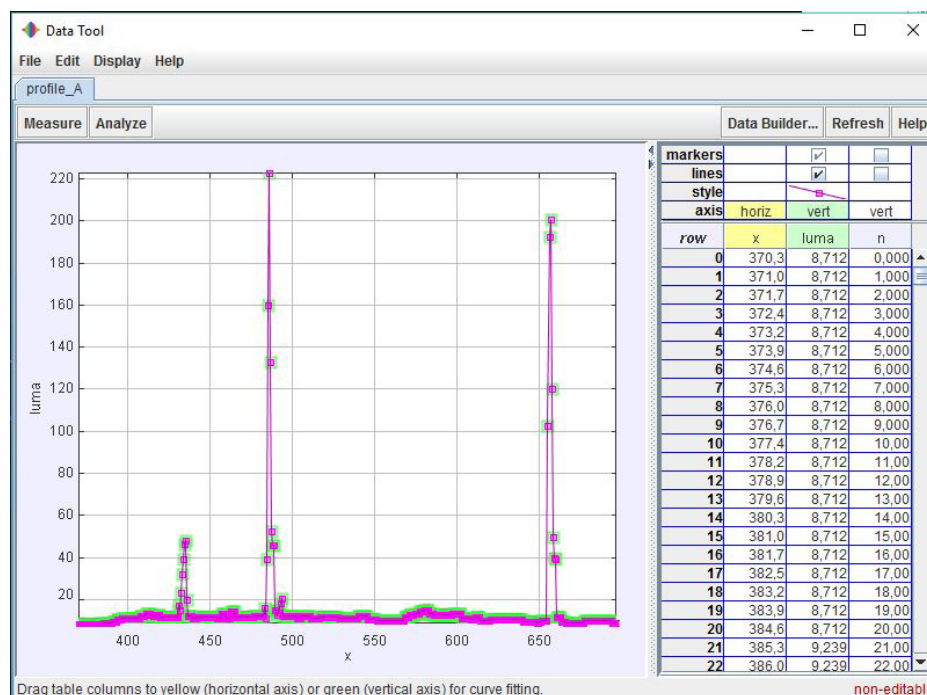


Рис. 3. Вигляд вікна Data Tool із розподілом інтенсивності

14. Повторіть останні кроки для інших спектрів.

15. Сформулюйте висновок до роботи.

*Таблиця результатів*

Колір	Довжина хвилі світла, $\lambda$ (нм)
Фіолетовий	
Синій	
Блакитний	
Зелений	
Жовтий	
Оранжевий	
Червоний	

## Лабораторна робота № 31.

### Вивчення явища поляризації світла

**Мета роботи:** експериментально перевірити залежність освітленості, створеної джерелом світла, від кута між площинами поляризації поляроїдів.

#### Завдання роботи:

1. Провести експеримент із поляризатором та аналізатором, змінюючи кут між площинами поляризації.
2. Зафіксувати процес зміни освітленості за допомогою ЦВК.
3. За даними, отриманими у процесі експерименту, побудувати залежність освітленості від квадрата косинуса кута між площинами.

**Обладнання:** установка, представлена на рис. 1, датчик освітленості, ЦВК, ПК.

#### Загальні відомості



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального пристрою

Прилади, за допомогою яких поляризується світло, називаються поляризаторами. У більшості з них використовують так звані поляроїди. Поляроїд – це тонка поляризаційна плівка, для якої характерне явище дихроїзму. Поляроїди широко використовують у техніці там, де високий ступінь поляризації не є обов'язковим. Прилади, за допомогою яких можна виявити ступінь і орієнтацію площини поляризації світла, називають аналізаторами. Якщо на шляху променя, що вийшов із поляризатора, поставити аналізатор, то інтенсивність світла, яке пройшло через аналізатор, залежатиме від взаємної орієнтації площин пропускання світлових хвиль поляризатора й аналізатора. Цю залежність описує закон Малюса, який формулюється так: інтенсивність плоскополяризованого світла, що проходить через аналізатор, пропорційна квадрату косинуса кута між напрямом коливань, які пропускає аналізатор без послаблення, і напрямом коливань у поляризованому світлі, що падає на аналізатор. Математично закон Малюса виражається формулою:

$$I = kI_0 \cos^2 \alpha, \quad (1)$$

де  $I$  – інтенсивність світла, що пройшло крізь аналізатор;  $I_0$  – інтенсивність світла, що падає на поляризатор;  $k$  – коефіцієнт поглинання світла речовиною поляризатора та аналізатора;  $\alpha$  – кут між напрямом

коливань, які пропускає аналізатор без послаблення, і напрямом коливань у поляризованому світлі, що падає на аналізатор.


У цій роботі виконується перевірка закону Малюса шляхом вимірювання рівня освітленості реєстратора, яка пропорційна інтенсивності світла, що на нього потрапляє. Для перевірки закономірності потрібно побудувати інструментами математичних таблиць графічну залежність величини освітленості від квадрата косинуса кута між напрямом коливань, які пропускає аналізатор без послаблення, і напрямом коливань у поляризованому світлі, що падає на аналізатор. У першому наближенні вона буде лінійною.

## Хід роботи

### Частина 1. Отримання даних

1. Складіть установку, представлену на світлинці.
2. Запрограмуйте ЦВК на одиничні вимірювання.
3. Помістіть за аналізатором ЦВК з реєстратором світла.
4. Сумістіть площини поляризації поляризатора й аналізатора та увімкніть джерело світла.
5. Увімкніть запис даних. Почергово збільшуючи кут між площинами на  $10^\circ$ , фіксуйте значення величини освітленості. Останнє значення отримайте для кута в  $90^\circ$ .

### Частина 2. Аналіз даних

6. Для аналізу отриманих даних у наведеному експерименті використовується програма Phywe measure 4 версія 4.6.13 ([https://repository.curriculab.net/files/software/setupm\\_version\\_4613.exe](https://repository.curriculab.net/files/software/setupm_version_4613.exe)). Файл даних має бути отриманий або відкритий у цій програмі.
7. Оберіть табличний вигляд представлення даних .
8. Оберіть у меню «Вимірювання» – «Експорт даних» і скопіюйте їх у буфер.
9. Відкрийте сторінку математичних таблиць і помістіть у неї дані (рис. 2).
10. Створіть колонку для кута і заповніть її. Переведіть кути в радіани. Розрахуйте квадрат косинуса кожного з кутів.

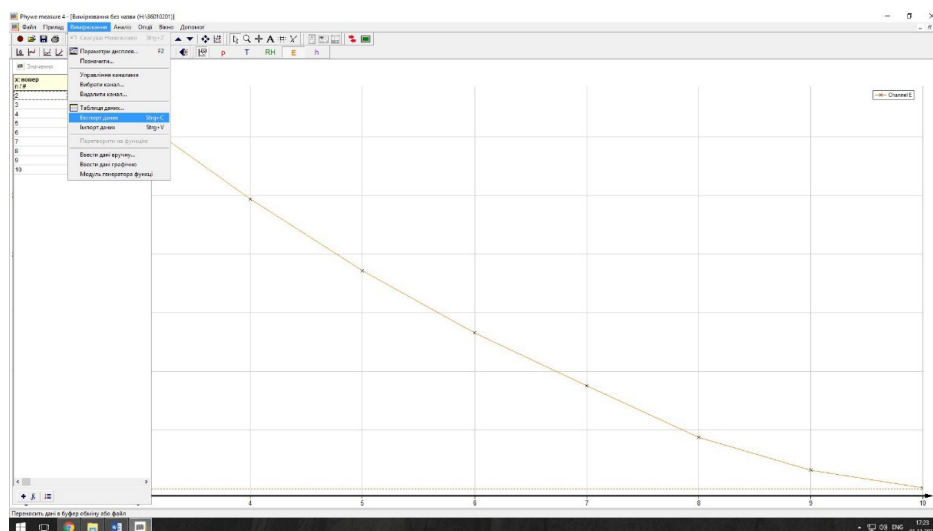


Рис. 2. Зовнішній вигляд екрана з графіком зміни напруги і визначенням розмаху

11. Побудуйте графічну залежність освітленості від квадрата косинуса кута. Проаналізуйте впливові фактори, що визначають похибку вимірювань, та сформулюйте висновок до роботи.

## Лабораторна робота № 32.

### Дослідження треків заряджених частинок за фотографіями

**Мета роботи:** ідентифікувати треки заряджених частинок, представлених на світлині, розрахувати відношення енергій заряджених частинок на початку та в кінці траєкторії руху.

#### Завдання роботи:

1. За допомогою інструментів програмного забезпечення для опрацювання відеозаписів визначити радіуси кривизни треків заряджених частинок, представлених на світлині.
2. Ідентифікувати частинки на світлині за розрахованим питомим зарядом.
3. Розрахувати відношення енергій частинок на початку та в кінці траєкторії.

**Обладнання:** ПК.

**Програмне забезпечення:** Tracker (<http://physlets.org/tracker/>).

#### Загальні відомості

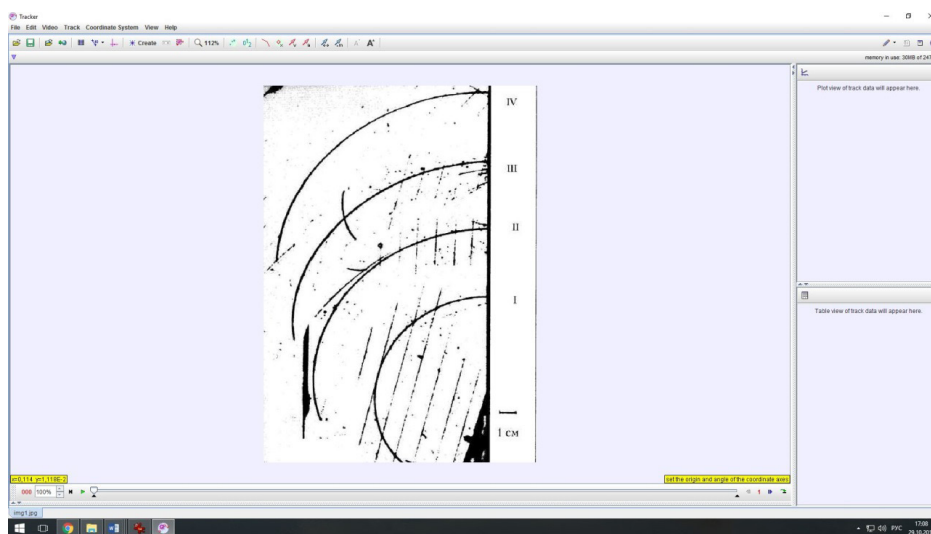


Рис. 1. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker

Заряджені частинки під час руху в трекових камерах залишають сліди, які можуть бути зафіксовані на світлинах. Вміщення трекових камер (камери Вільсона, дифузійної камери тощо) у потужні магнітні поля дає можливість реєструвати викривленість їхніх траєкторій. Радіус кривизни траєкторії визначається силою Лоренца, що впливає на рух зарядженої частинки.

Для будь-якої частинки буде виконуватися співвідношення:

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}, \quad (1)$$

де  $\frac{q}{m}$  – питомий заряд частинки;  $v$  – складова швидкості, перпендикулярна лінії індукції магнітного поля;  $B$  – індукція магнітного поля;  $r$  – радіус кривизни траєкторії.

За умови, що початкова швидкість руху різних частинок буде однаковою за модулем і напрямком, розрахунок питомого заряду дає можливість ідентифікувати інші заряджені частинки, якщо на світлині буде наявний один трек, залишений відомою частинкою. Наприклад, для протона питомий заряд може бути визначений співвідношенням:

$$\frac{e}{m_p} = \frac{v}{Br_p}. \quad (2)$$

З виразів (1) та (2) отримуємо вираз для визначення питомого заряду невідомої частинки:

$$\frac{q}{m} = \frac{er_p}{m_p r}. \quad (3)$$

Враховуючи, що під час руху частинки в трековій камері відбувається зменшення її кінетичної енергії, виходячи з виразу (1), отримуємо вираз, який дає змогу розрахувати відношення енергії частинки на початку  $E_1$  і в кінці траєкторії  $E_2$ :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}. \quad (4)$$

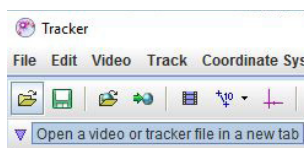
## Хід роботи



### Частина 1. Отримання світлин

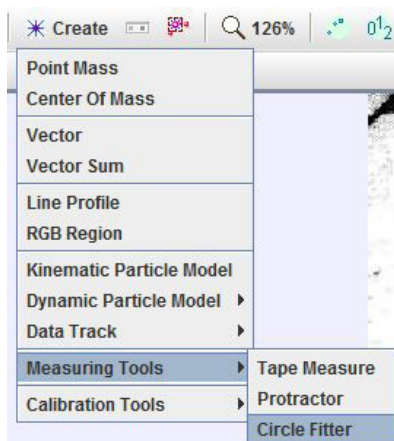
1. Завантажте готову світлинку з [ресурсу](#).

### Частина 2. Опрацювання світлин

2. Завантажте світлинку у програму Tracker. Для цього скористайтесь кнопкою Open у верхньому меню програми.



3. Оберіть у верхній стрічці кнопку Show, hide or create calibration tools  та в меню – New → Calibration Stick. Програма запропонує, утримуючи клавішу Shift, обрати на зображенні першу та другу точку для одиничного відрізка. На відео з'явиться відрізок. У цифровому полі над відрізком необхідно ввести значення його довжини в метричній системі. Кінці відрізка можна вільно пересувати «перетягуванням» по зображенню. Сумістіть кінці відрізка з одиничним відрізком на фото. Ще раз оберіть кнопку Show, hide or create calibration tools . Одиничний відрізок зникне, але програма запам'ятає його положення та довжину.
4. Для вимірювання радіусів кривизни оберіть у верхньому меню кнопку Create – Measuring Tools – Circle Fitter.



5. У лівому кутку з'явиться вікно Track Control.
6. Натисніть клавішу Shift. Курсор набуде вигляду невеликої рамки. Сумістіть цю рамку з початком траєкторії 1 (це траєкторія протона) і натисніть ліву кнопку маніпулятора. Повторіть ці дії для трьох точок на цій траєкторії, розташованих недалеко від першої.
7. У верхній стрічці з'явиться значення радіуса кола, що вписане в траєкторію, а на зображенні – саме коло. Скорегуйте положення точок так, щоб коло найкраще вписувалося в цю ділянку. Зчитайте значення радіуса і запишіть до таблиці (рис. 2).
8. Перетягніть точки в кінець траєкторії. Зчитайте значення радіуса кривизни і занотуйте до таблиці.
9. Проведіть аналогічні дії щодо інших траєкторій. Усі значення радіусів запишіть до таблиці.

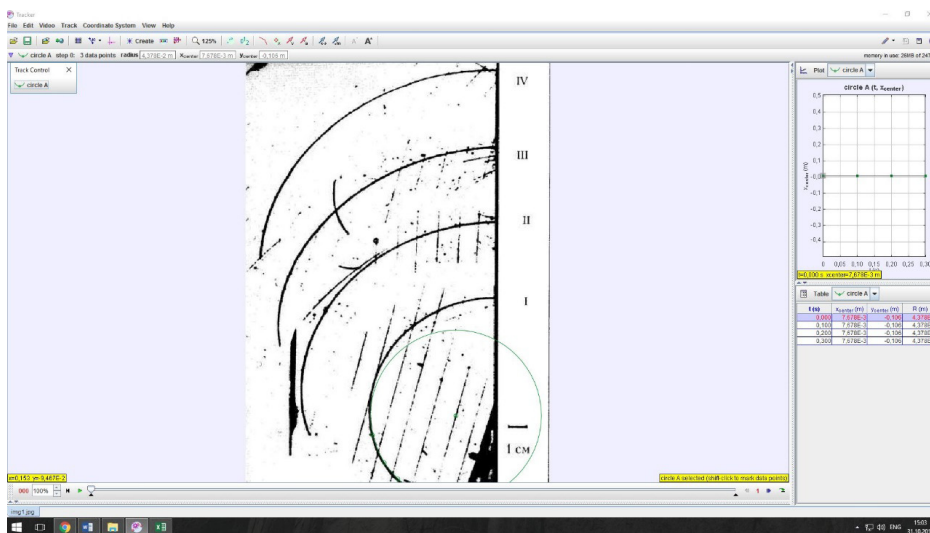


Рис. 2. Зовнішній вигляд вікна програми Tracker після вписування кола в траєкторію

### Частина 3. Аналіз даних

10. Використовуючи вираз (3), розрахуйте питомий заряд частинки для траєкторій 2,3,4. Ідентифікуйте частинки. Результат занотуйте до таблиці.
11. Використовуючи вираз (4), розрахуйте відношення енергій на початку та в кінці руху кожної частинки. Результат занотуйте до таблиці.
12. Сформулюйте висновок до роботи.

#### Таблиця результатів

№ траєкторії частинки	Радіус траєкторії на початку руху, $r$ (м)	Радіус траєкторії в кінці руху, $r'$ (м)	Питомий заряд частинки, $\frac{q}{m}$ (Кл/кг)	Назва частинки	Відношення енергій частинки на початку та в кінці руху, $\frac{E_1}{E_2}$
1				протон	
2					
3					
4					



## Список використаних джерел

1. The Digital Competence Framework 2.0 <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework>
2. The New Ukrainian School [Online]. Available at: <http://mon.gov.ua/Новини%202017/02/17/book-final-eng-cs-upd-16.01.2017.pdf>. (accessed 31.07.2018)
3. Krumsvik, R. & Almås, A.G.. (2009). The digital didactic.
4. Chernetskyi I. S., Slipukhina I. A. (2015) Doslidnytska diialnist studentiv u konteksti vykorystannia naukovooho y inzhenernoho metodiv [Research activity of students in the context of the use of scientific and engineering methods] Vyscha osvita Ukrainy: Teoretychnyi ta naukovo-metodychnyi chasopys. – Higher Education in Ukraine: Theoretical and Scientific Methodical Journal, no. 3. – Ann. 1. – pp. 216–225.
5. Slipukhina I. A. , Chernecykij I. S. , Mjenjajlov S. M., Rudnycjka Zh. O. Matejik Gh. D. (2016) Suchasnyy fizychnyy eksperyment u dydaktytsi STEM oriyentovanoho navchannya [A modern physical experiment in STEM-based teaching didactics] Zbirnyk naukovykh prats' kam»yanets'-podil's'koho natsional'noho universytetu imeni Ivana Ohiyenka [Collection of scientific works of the Kamyanets-Podilsky National University named after Ivan Ogienko], issue 22, pp. 325–328. (in Ukrainian).
6. Fourier education [Electronic Resource]. – Available at: <http://fourieredu.com/2014-bett-awards/> (accessed 30.07.2018)
7. PHYWE. Physics Laboratory experiments. Induction impulse. (2008), P. 193/ Available at: [http://www.phywe-es.com/index.php/fuseaction/download/lrn\\_file/phywe-tess-phy-lep-en.pdf](http://www.phywe-es.com/index.php/fuseaction/download/lrn_file/phywe-tess-phy-lep-en.pdf) (accessed 30.07.2018)
8. PASCO <https://www.pasco.com/>
9. STEM-laboratoriia MANLab [STEM-laboratory MANLab]. Available at: <http://stemua.science>. (accessed 30.07.2018)
10. Digitale Didactiek <http://www.digitaledidactiek.be/wegwijs/inleiding/waarom-digitaal-leren/?lang=en>
11. Jahnke I., Norberg A. Digital Didactics – Scaffolding a New Normality of Learning. In: Open Education 2030 – contributions to the JRC-IPTS Call for Vision Papers. 2013. Part III: Higher Education pp. 129–134. URL: <http://blogs.ec.europa.eu/openeducation2030/category/vision-papers/higher-education/> (дата звернення: 15.08.2018).
12. Jahnke, Isa & Mårell-Olsson, Eva & Norqvist, Lars & Olsson, Andreas & Norberg, Anders. (2014). Digital Didactical Designs – Reimagining Designs for Teaching and Learning.
13. Jahnke, Isa. (2015). Digital Didactical Designs. Teaching and Learning in CrossActionSpaces.. 10.4324/9781315681702.
14. Jahnke, Isa & Kumar, Swapna. (2014). Digital Didactical Designs: Teachers' Integration of iPads for Learning-Centered Processes., Journal of Digital Learning in Teacher Education. 30. 81–88. 10.1080/21532974.2014.891876.
15. Aleksić, Veljko & Ivanovic, Mirjana. (2014). Digital Didactic Games In Elementary School.
16. Сліпухіна І. А. Педагогіка XXI століття: формування цифрової дидактики / І. А. Сліпухіна, Н. І. Поліхун, І. С. Чернецький // Зб. наук. пр.: педагогічні науки. – Херсон: ХДУ, 2018.– № 83.– Т. 1.– С.231–237. Режим доступу: [http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue\\_83/part\\_1/45.pdf](http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue_83/part_1/45.pdf)
17. Perri, Francesca. (2018). DIGITAL DIDACTICS: AN INTRODUCTORY TRAINING COURSE FOR TEACHERS. 7875-7883. 10.21125/inted.2018.1883.
18. Nęcek, Robert & Gurba, Krzysztof & Misztal, Wojciech. (2016). DIGITAL DIDACTICS – FACEBOOK APPLICATION IN LEARNING PROCESS. 1220-1226. 10.21125/inted.2016.1267.
19. Pedrosa, Stella & Tortori, Tito. (2014). Digital Didactics and Science Centres: An Innovative Proposal. ECPS – Educational, Cultural and Psychological Studies. 177–187. 10.7358/ecps-2014-010-pedr.
20. Гончаренко С. Український педагогічний словник / Семен Гончаренко. – К. : Либідь, 1997.– 374 с.
21. Чернецький І. С. Цифрові вимірювальні комплекси – засіб розвитку дослідницьких якостей суб'єктів пізнавальної діяльності / І. С. Чернецький, І. А. Сліпухіна, С. М. Меньяйлов // Науковий часопис Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова. Серія № . Педагогічні науки: реалії та

- перспективи. – Випуск : зб. наук. пр./ за ред. В. Д. Сиротюка.– К.: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2013. – С. 125–128.
22. Стрижак О. Засади STEM-освіти в Україні: основні дефініції / Олександр Стрижак, Ірина Сліпучіна, Наталія Поліхун, Ігор Чернецький // *Information Technologies and Learning Tools* – [електронне наукове фахове видання]. – К.: ІТЗН НАПН України, 2017. – Т. 61. – № 5. – Режим доступу: URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/author/submission/1753> – Назва з екрану. (1,38 д.а)
  23. Slipukhina I., Polikhun N., Chernetkiy I., Mienailov S. “STEM practice: interdisciplinarity in teaching physics” / *Information and Innovation Technologies in Education pod redakcją naukową dr Aleksander Ostenda oraz mgr Paweł Mikos* On line: <http://www.en.wst.com.pl/>
  24. Choi BC, Pak AW. Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 3. Discipline, inter-discipline distance, and selection of discipline. / Bernard C. K. Choi, Anita W. P. Pak // *Med. Clin. Exp.*– 2008.– Vol.31(1). – P. 41-8. [Online]. Available: <http://cimonline.ca/index.php/cim/article/viewFile/3140/1269>
  25. Валерій Биков, Марія Лещенко, Лариса Тимчук. Цифрова гуманістична педагогіка. Посібник, 2017 <http://lib.iitta.gov.ua/710669/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%A6%D0%93%D0%9F.pdf>
  26. Andorfer, Michael & Lienhart, Anna & Seel, Mariella & Panzenböck, Johannes & Knogler, Patrick. (2018). Literature Review for KARLI - Kidfriendly Augmented Reality Learning Interface Available from: [https://www.researchgate.net/publication/337864062\\_Literature\\_Review\\_for\\_KARLI\\_-\\_Kidfriendly\\_Augmented\\_Reality\\_Learning\\_Interface](https://www.researchgate.net/publication/337864062_Literature_Review_for_KARLI_-_Kidfriendly_Augmented_Reality_Learning_Interface) [accessed Jan 07 2020].
  27. I. Jahnke, L. Norqvist, and A. Olsson, “Digital didactical designs of learning expeditions (in: Ectel2014)”, Sep. 2014.DOI:10.1007/978-3-319-11200-8\_13.
  28. Постанова від 21 лютого 2018 р. № 87 «Про затвердження Державного стандарту початкової освіти» <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-derzhavnogo-standartu-pochatkovoyi-osviti>
  29. Закон України «Про освіту» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19?find=1&text=%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80>
  30. Наказ № 1303 від 16 жовтня 2019 року Про затвердження Стандарту спеціалізованої освіти наукового спрямування [<https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-standartu-specializovanoyi-osviti-naukovogo-spryamuvannya>]
  31. Ruthven, K. (2012). The didactical tetrahedron as a heuristic for analysing the incorporation of digital technologies into classroom practice in support of investigative approaches to teaching mathematics. *ZDM—The International Journal on Mathematics Education*, 44(5). doi:10.1007/s11858-011-0376-8
  32. Чошанов М. А. Е-дидактика: Новый взгляд на теорию обучения в эпоху цифровых технологий. Образовательные технологии и общество (*Educational Technology & Society*). 2103. Т.16. №3. С.673–685. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/e-didaktika-novyy-vzglyad-na-teoriyu-obucheniya-v-epohu-tsifrovyyh-tehnologiy> (дата звернення: 15.08.2018).
  33. Video Analysis and Modeling Tool [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>
  34. Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu) <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcompedu>
  35. UNESCO ICT Competency Framework for Teachers <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000213475.locale=en>
  36. Minisee <http://minisee.software.informer.com/1.1/>
  37. Pinchuk, O.P., Tkachenko, V.A., Burov, O.Yu., AV and VR as Gamification of Cognitive Tasks. Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. 2019. Vol-2387. P. 437–442 <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190437.pdf>
  38. Цифрова гуманістична педагогіка [Текст] : посібник / Валерій Биков, Марія Лещенко, Лариса Тимчук ; Нац. акад. пед. наук України, Ін-т інформ. технологій і засобів навчання. - Полтава : Астрія, 2017. – 180 с. : рис. – ISBN 978-966-97714-8-3



Навчальне видання

ЧЕРНЕЦЬКИЙ І. С.  
СЛІПУХІНА І. А.  
ПОЛІХУН Н. І.

**Фізика.**  
**Прикладні методики**  
**інструментальної цифрової дидактики**

Навчально-методичний посібник

Редагування К. І. Шестакової  
Верстка О. А. Жупанської

Підписано до друку