

УДК 372.853.

Рибалко А. В., Рибалко О. С., Лебедь О. О.

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ TRACKER ЯК ДИДАКТИЧНОГО ЗАСОБУ ПЕРЕВІРКИ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ

*У статті коротко проаналізовано технічні можливості комп'ютерної програми Tracker. Запропоновано методику застосування цієї програми для навчального дослідження нецентрального удару тіл з метою перевірки закону збереження імпульсу.*

**Ключові слова:** навчальні дослідження, програма Tracker, закон збереження імпульсу.

**Постановка проблеми.** Навчальний експеримент виконує важливі дидактичні функції в процесі навчання фізики. У випадку його вдалого здійснення він може стати одночасно джерелом знань, методом навчання та видом наочності. Серед найголовніших дидактичних функцій навчальних експериментів, на нашу думку, є можливості: 1) створення в учнів або студентів яскравих чуттєвих образів, що є передумовою їх мислення; 2) побудови наочних моделей реальних явищ, які сприяють суб'єктивному відкриттю нових фізичних фактів, закономірностей, принципів тощо. Тому питання, пов'язані із технічним вдосконаленням навчальних експериментів, завжди є **актуальними** у дидактиці фізики.

Але, як показує практика, демонстраційний або навчальний експеримент, спрямований на формування передумов засвоєння, наприклад, законів механіки, виражених у математичній формі, пов'язаний з досить суттєвими труднощами. Незважаючи на позірну простоту механічних явищ, пряме вимірювання фізичних величин, що характеризують механічний стан тіла (швидкість, прискорення, імпульс, кінетична енергія тощо), є досить складним. Особливо ця задача ускладнюється у випадку необхідності дослідити характер зміни вищевказаних величин з часом.

Сучасні інформаційні технології створюють широкий спектр можливостей для усунення вищевказаних проблем. Зокрема, потужним засобом організації навчального дослідження механічних явищ є їх відеозапис, проте методика його впровадження в процес навчального дослідження, на нашу думку, мало розроблена.

Тому в цій статті висвітлено деякі результати методичних досліджень у застосуванні комп'ютерної програми Tracker як навчального засобу вивчення механічних явищ у вітчизняній загальноосвітній та вищій школі.

**Аналіз останніх досліджень.** Для візуалізації перебігу явища взаємодії макротіл донедавна застосовувались такі засоби, як відеозапис та стробоскопічна фотографія [1]. Проте, розвиток комп'ютерної техніки дозволив поєднати ці засоби в одне ціле. Зокрема в мережі Інтернет з'явилася програма Tracker, яка була розроблена викладачем університету San Francisco State University (США) Дугласом Брауном як засіб опрацювання відеозаписів механічних явищ [4, 5, 6]. Оскільки ця програма є доступною в мережі Інтернет, то це зумовлює згоду автора до її вільного застосування.

**Метою** цієї статті є висвітлення теоретичних засад та практичних рекомендацій до впровадження програми Tracker як дидактичного засобу організації навчальних досліджень для перевірки закону збереження імпульсу.

**Виклад основного матеріалу.** Коротко принцип дії програми Tracker полягає в наступному. Спочатку в базу даних програми вноситься відеозапис руху тіла або взаємодії декількох тіл. Причому для калібрування відстаней цей відеозапис повинен містити зображення лінійки або довільного відрізка, що може бути мірою реальної відстані. Наступним кроком є встановлення мірила відеозображення. Для цього в меню слід вибрати відповідну команду, що створює на екрані зображення калібрувального відрізка, кінці якого за допомогою курсору потрібно навести на відповідні поділки шкали лінійки. Калібрувальному відрізку спочатку приписується довжина 100 у. о. За бажанням його довжину можна перевести в реальні одиниці.

Далі слід ввести систему координат, яку можна розташувати довільно відносно зображення відеозапису. Потім за допомогою відповідних функцій задати символи тіл у вигляді літер латинського алфавіту, ввести значення мас тіл.

Наступним кроком є вибір частоти відеокадрів, для чого в меню теж передбачена відповідна функція. На нашу думку, оптимальний вибір цієї частоти має ключове значення для дослідження характеру взаємодії тіл при їх зіткненнях, оскільки важливо отримати інформацію про механічний стан тіл до і після зіткнення.

Після вибору частоти кадрів, слід за допомогою одночасного натискання клавіші Shift та встановлення курсору на зображення тіла зафіксувати його положення в кожному кадрі.

Під час виконання цих дій у відповідному вікні меню програми з'являється таблиця даних залежності значень фізичних величин від часу. Спектр пропонованих програмою досліджуваних

фізичних величин є досить широким: координати, швидкість, прискорення, імпульс, проекції цих векторних величин на координатні осі, кути між векторами та координатними осями, кутові швидкості та прискорення тощо. Окрім цього програмою передбачено побудова векторів фізичних величин і траєкторії руху тіла на зображенні певного кадру відеозапису. Є також функція графічного аналізу залежності значення тієї чи іншої величини від часу.

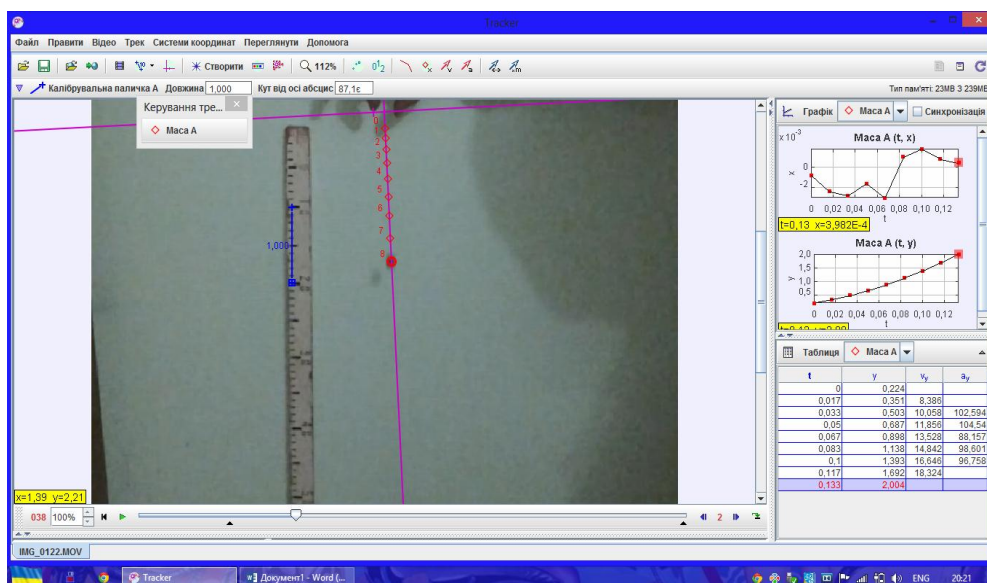
Зрозуміло, що як і будь-яка графічна програма, Tracker фіксує миттєві значення фізичних величин за певним алгоритмом. На нашу думку, цей алгоритм не є складним і його суть полягає в тому, що миттєвим значенням фізичних величин приписуються їх середні значення суміжних середніх значень за малий проміжок часу. Наприклад, значення миттєвої швидкості програма знаходить за 3-ма координатами тіла, а прискорення – за значенням 5-ти координат.

Незважаючи на те, що програма Tracker створює передумови розвитку абсолютно інноваційних підходів до організації навчальних досліджень механічних явищ внаслідок їх прямої візуалізації, вона має низку недоліків. Зокрема, здійснені нами перші ж спроби експериментальної перевірки загальновідомих закономірностей вільного падіння тіл викликали не абиякі труднощі в отриманні достовірних результатів значень фізичних величин (див. мал. 1). Це пов'язано із похибкою при визначенні координат точки тіла у вибраній момент часу, оскільки цей вибір здійснюється "вручну" за допомогою курсору. При цьому в різних стоп-кадрах відеозапису необхідно щоразу "на око" вибрати одну й ту ж точку тіла. Тому, як показує практика, визначення прискорення, зокрема у випадку рівноприскореного руху, за допомогою цієї програми відбувається із значною похибкою. Очевидно, це пов'язано з необхідністю занесення 5-ти значень координат, а значить при кожному занесенні допускати похибку. Зате значення швидкостей (похибка заноситься всього 3 рази) визначаються досить задовільно.

Для дослідження кінематичних закономірностей руху тіл не потрібно конструювати особливих установок. Достатньо звичайного обладнання фізичного кабінету або кафедри: жолоби, трибометри, штативи, балістичні пістолети, маятники тощо. З їх допомогою, використовуючи програму Tracker, нескладно організувати навчальні дослідження кінематики наступних рухів: а) *рівноприскорених прямолінійного (зокрема вільного падіння) та обертального*; б) *тіла, кинутого горизонтально або під кутом до горизонту*; в) *різноманітні коливання: гармонічні, згасаючі, аперіодичні, накладання коливань тощо*. У випадках б) та в) варто учням (студентам) поставити завдання дослідити траєкторію руху тіла (точки). При дослідженні обертального руху доцільно користуватися полярною системою координат.

Даючи навчальні завдання типу а) та б), слід пам'ятати про відносно значну похибку у визначенні прискорення, якщо зображення предмета в кадрі розмите. Наприклад, результати експериментальної перевірки закономірностей вільного падіння тіла (мал. 1) свідчать, що залежність значень координати тіла  $y$  від часу  $t$  близький до квадратичної, а залежність проекцій миттєвих швидкостей  $v_y$  від  $t$  – до лінійної, що відповідає загальновідомим властивостям рівноприскореного руху. Проте, значення проекцій прискорень  $a_y$  від часу, на відміну від очікуваної константи, зазнає помітних флуктуацій відносно свого середнього значення, хоча саме середнє значення  $a_y$  (прискорення вільного падіння  $g$ ) близьке до табличного:

$$a_y = g = \frac{102,594 + 104,540 + 88,157 + 98,601 + 96,758}{5} = 98,130 \text{ (} \Delta m/c^2 \text{)}.$$



Мал. 1. Результати дослідження вільного падіння

Розрахунок похибки отриманого результату методом середнього дає задовільний результат для навчальних досліджень:

$$g = (98 \pm 5) \text{ (дм/с}^2\text{)}, \quad \varepsilon = 5\%.$$

Для учнів (студентів) фізико-математичного профілю навчання можна дещо ускладнити хід виконання дослідження, вилучивши з таблиці даних значення  $a_y$ . Тоді значення прискорення для  $n$ -того міжкадрового інтервалу часу можна знайти із співвідношення  $a_{ny} = \frac{v_{ny} - v_{(n-1)y}}{t_n - t_{n-1}}$ . За результатами експерименту відображеного на мал. 1, отримане значення прискорення вільного падіння становить

$$g = (99 \pm 7) \text{ (дм/с}^2\text{)}, \quad \varepsilon = 7\%.$$

Можна навчальне завдання ускладнити ще більше, вилучивши з таблиці даних значення проекцій швидкостей і запропонувавши учням (студентам) скористатися лише залежністю координати тіла  $y$  від часу  $t$ . Проте, як свідчить попередній приклад, похибка отриманого результату при цьому може зростати. Усунути цю проблему можна: 1) здійснюючи відеозапис у режимі високої частоти кадрів, 2) забезпечити якомога більшу освітленість об'єктів відеозапису, оскільки це зменшить розміри діафрагми об'єктива камери, а значить і розмитість кадрів.

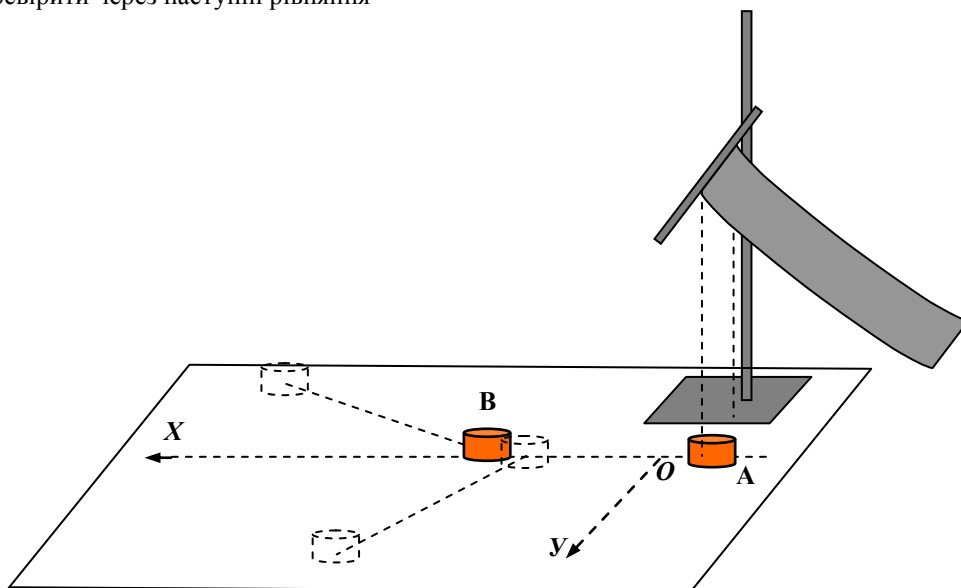
**Установка для перевірки закону збереження імпульсу у випадку нецентрального удару.** Закон збереження імпульсу – це один із фундаментальних законів збереження. Суттєвою його особливістю є векторний характер імпульсів тіл. Проте більшість пропонуваних методичних розробок для експериментальної перевірки цього закону, як правило, передбачають центральне зіткнення тіл та опосередковане визначення значень їх імпульсів [2, 3], що, на нашу думку, не сприяє глибокому засвоєнню поняття "імпульс" як векторної величини. Звичайно, навчальне дослідження для перевірки закону збереження імпульсу можна організувати на основі стробоскопічної фотографії, наприклад, нецентрального зіткнення двох більярдних куль, продемонструвавши перед цим відеозапис самого зіткнення. Але отримання якісної стробоскопічної фотографії, навіть у наш час цифрової зйомки, є непростю технічною задачею. Значно зручніше застосувати програму Tracker, яка дозволяє дослідити такі швидкоплинні процеси як удари тіл за допомогою спеціально розробленої установки.

Пропонована установка (мал. 2) складається з гладкої горизонтальної пластинки плоскої пружини, закріпленої на штативі. Якщо шайбу А розмістити як на мал. 2, а потім відігнути пружину і відпустити її, то шайба набуде імпульсу, після чого зіткнеться із шайбою В. У випадку нецентрального удару цих шайб вони рухатимуться як показано на рисунку штриховими лініями. У вигляді шайб ми рекомендуємо взяти пластмасові шашки для відповідної гри.

Систему шайб при зіткненні наближено можна вважати замкненою. Тому для достовірної перевірки закону збереження імпульсу важливо якомога точніше визначити імпульси шайб безпосередньо перед та після зіткнення.

При здійсненні відеозапису експерименту слід розташувати камеру над пластинкою, попередньо поклавши на пластинку калібрувальну лінійку так, щоб вона входила в кадр і не заважала руху шайб.

Ресурс програми дозволяє за відеозображенням та вказаною величиною мас визначити як значення імпульсів тіл, так і їх проекцій на довільно вибрані осі декартової системи координат. Якщо координатні осі вибрати так як зображено на мал. 2, то справедливість закону збереження імпульсу зручно перевірити через наступні рівняння



Мал. 2. Установка для дослідження нецентрального удару тіл

$$p_{0xA} = p_{xA} + p_{xB}, \quad 0 = p_{yA} + p_{yB}. \quad (1)$$

Причому, до та після удару необхідно отримати мінімум по 3 значення координат центра мас шайб. Значення проекцій імпульсів шайб знаходять за допомогою відповідної функції меню програми, а способи перевірки формул (1) та оцінки похибок ми виносимо на розсуд викладача.

Ефективність пропонованого методу перевірки справедливості закону збереження імпульсу при нецентральному зіткненні двох шайб однакової маси відображено на мал. 3. Як видно з результатів експерименту проекція імпульсу шайби А на вісь  $OX$  до зіткнення дорівнює  $p_{0Ax} = 4,537$  умовних одиниць імпульсу, оскільки масі шайб приписувалася умовна одиниця маси. Після зіткнення проекції імпульсів шайб А та В становлять  $p_{Ax} = 3,338$  у.о. і  $p_{Bx} = 1,091$  у.о. відповідно. Звідки похибка достовірності рівняння (1) за координатою  $x$  дорівнює

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{3,338 + 1,091}{4,537} \right| \cdot 100\% = 2,4\%.$$

Проекціям імпульсів шайб на вісь  $OY$  відповідають значення  $p_{Ay} = 1,485$  у.о. та  $p_{By} = -1,465$  у.о. Звідки похибка достовірності виразу (1) за координатою  $y$  дорівнює

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{1,485}{1,465} \right| \cdot 100\% = 1,3\%.$$

Пропонована експериментальна установка є досить простою і легко може бути складена в будь-якому кабінеті фізики.

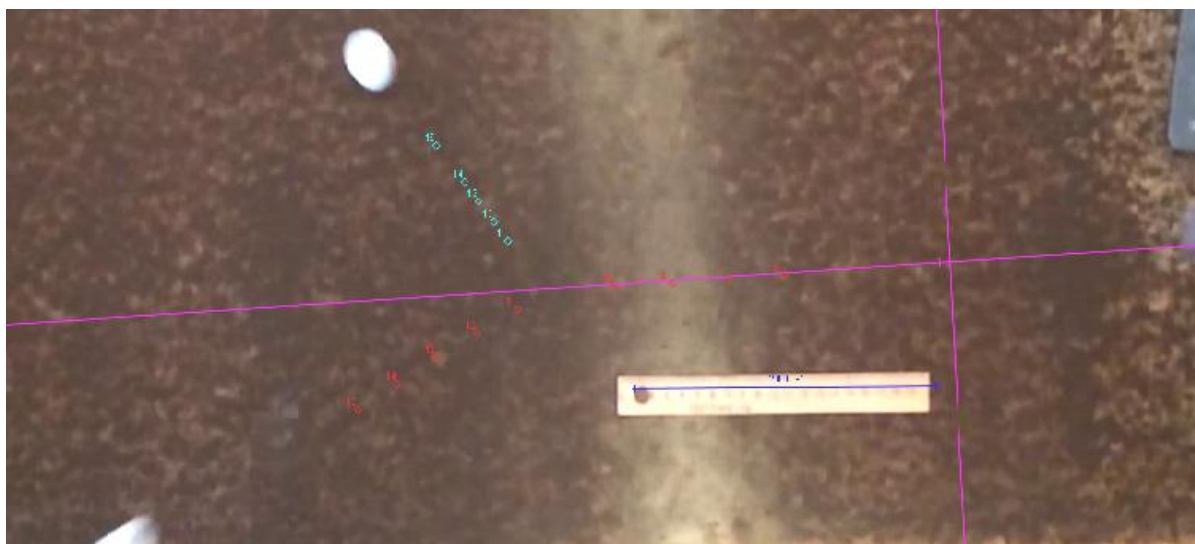


Table mass A					
t	x	y	$v_x$	$p_x$	$p_y$
0,033	0,034	0,001			
0,041	0,07	0,001	4,714	4,714	0,01
0,05	0,11	0,001	4,655	4,655	0,062
0,058	0,148	0,002	4,487	4,487	0,072
0,066	0,185	0,002	4,537	4,537	-0,0...
0,075	0,223	0,001			
0,091	0,288	0,011			
0,1	0,316	0,023	3,338	3,338	1,485
0,108	0,344	0,036	3,288	3,288	1,6
0,116	0,371	0,05	3,236	3,236	1,659
0,125	0,398	0,063			

Table mass B				
t	$v_y$	$v_x$	$p_x$	$p_y$
0,091				
0,1	-1,465	1,091	1,091	-1,465
0,108	-1,465	1,091	1,091	-1,465
0,116				
0,133				

Мал. 3. Результати нецентрального удару двох шайб

**Висновки.** Проведені нами дослідження дозволяють сформулювати наступні висновки:  
 1) програма Tracker може бути використана як ефективний навчальний засіб у навчанні фізики;  
 2) позитивною інновацією в проведенні навчальних досліджень механічних явищ за допомогою цієї програми є можливість отримання значень координат тіла (точки тіла) через незначні проміжки часу;  
 3) основним недоліком програми є відносно велика похибка у визначенні прискорень тіл.

Вказані недоліки не зменшують важливість цієї програми як досить ефективного інноваційного навчального засобу, що може успішно використовуватися при організації навчальних демонстрацій та досліджень.

Проведена нами експериментальна перевірка дієздатності програми Tracker дозволяє виокремити наступні напрямки її застосування у навчанні фізики: *кінематика поступального, обертального та коливального рухів; закономірності взаємодії тіл; закони збереження в механіці.*

Спектр можливостей застосування програми Tracker як навчального засобу досить широкий: демонстрація механічних явищ та фіксація механічних станів систем тіл при поясненні нового матеріалу; постановка та організація розв'язування експериментальних задач; постановка лабораторних робіт як для студентів вишів, так і для учнів загальноосвітніх шкіл при виконанні лабораторних практикумів; організації навчальних досліджень з експериментальної фізики в системі МАН тощо.

Зауважимо, що проведені нами дослідження не розкривають усі можливі ресурси програми Tracker у навчанні фізики, оскільки навіть її автори офіційно не надали жодних методичних рекомендацій.

#### Використані джерела.

1. Дж. Орір. Популярная физика. – М.: Мир, 1969. – 556 с.
2. Практикум по физике в средней школе. Дидакт. материал. Под ред. А. А. Покровского. – М.: Просвещение, 1987. – 192 с.
3. Фізичний практикум. Під ред. Дуценка В. П. – К.: Вища школа, 1984. – Ч. 1. – 256 с.
4. <https://www.youtube.com/watch>.
5. <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>
6. <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/archives/Tracker-4.87-windows-installer.exe>

*Rybalko A., Rybalko O., Lebed A.*

#### OF COMPUTER PROGRAMS TRACKER AS A DIDACTIC MEANS OF VERIFICATION THE LAW OF CONSERVATION OF MOMENTUM

*The article briefly analyzes the technical possibilities of computer-grams Tracker. The method of application of the program for at-educational research bodies noncentral effort to verify the law of conservation of momentum.*

*The law of conservation of momentum one of the fundamental conservation laws. An important feature is the character vector pulse bodies. However, most of the proposed teaching materials for experimental verification of the law, usually provide a central collision of bodies and indirectly determining the values of pulses which, in our opinion, is not conducive to master the concept of "momentum" as a vector magnitude. Educational research to verify the law of conservation of momentum can be organized on the basis of stroboscopic photography, for example, no central collision of two billiard balls, demonstrating in front of this video of the collision. But to quality stroboscopic photographs, even in our time digital recording are difficult technical challenge. Much more convenient to use the program Tracker, which allows you to explore the rapidly changing processes such as body blows using a specially designed installation.*

**Key words:** *educational research, program Tracker, law of conservation of momentum.*

*Стаття надійшла до редакції 05.05.2015*