

САМОРОБНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ ВПЛИВУ СИЛИ ТЕРТЯ НА ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ ТВЕРДОГО ТІЛА

Автори пропонують серію демонстраційних експериментів з динаміки обертального руху твердого тіла, пов'язаних із впливом сили тертя.

Ключові слова: критичне мислення, демонстраційний експеримент, динаміка обертального руху твердого тіла, сила тертя.

У сучасних умовах, коли навчальні програми з фізики, а з ними і вимоги до шкільної фізичної освіти, змінюються досить часто, особливої актуальності набуває питання підготовки кваліфікованих учителів фізики. Окрім знання фактичного матеріалу з фізики та володіння основними педагогічними навичками важливе місце в підготовці майбутнього вчителя фізики повинен займати розвиток його критичного мислення. Людина, яка критично мислить, готова до планування своїх дій, наполегливо працює над розв'язанням проблем, готова шукати компромісні рішення та виправляти власні помилки, здатна до самоусвідомлення розумового процесу [10].

У навчальному процесі з фізики значна роль відводиться демонстраційному експерименту, оскільки він є провідним засобом для розвитку пізнавальної активності та творчих здібностей учнів та студентів. Демонстраційні досліди використовуються для ілюстрації розповіді, бесіди, пояснення; створення проблемної ситуації та її вирішення; постановки і розв'язування експериментальних задач; перевірки гіпотез та підтвердження теоретичних положень тощо.

Сучасні дослідники в галузі дидактики фізики розглядають питання цілезорієнтованої підготовки майбутніх учителів до успішної постановки демонстраційного експерименту [1], готовності вчителя здійснювати управління пізнавальною діяльністю учнів у процесі постановки демонстраційного експерименту [7]. Значна увага в цих дослідженнях приділяється вимогам до проведення демонстраційного експерименту, а також використанню комп'ютерних демонстрацій.

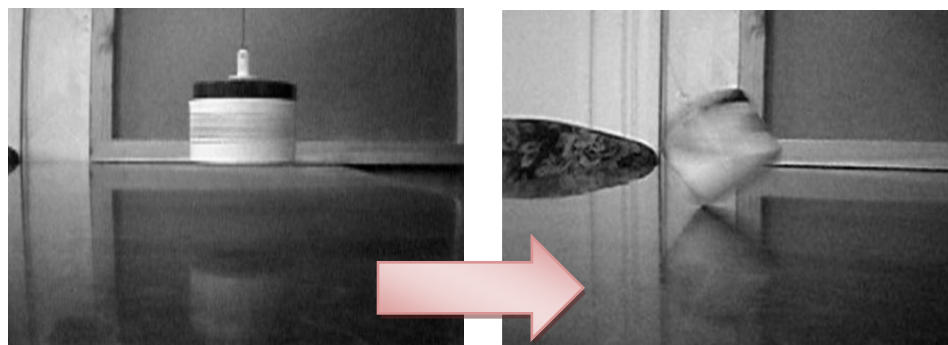
Автори роботи [8] розглядають інтерактивний метод навчання при проведенні лекцій з фізики, який, на їх погляд, формує і розвиває аналітичні здібності, у тому числі й здатність критично мислити. Запропонована ними дидактична модель інтерактивного навчання базується на використанні демонстраційного експерименту та залученні студентів до його активного критичного обговорення.

Ми зі свого боку в минулорічній статті торкалися загального питання розвитку критичного мислення студентів фізичних спеціальностей засобами демонстраційного експерименту з динаміки обертального руху твердого тіла [6]. Мова йшла про спеціально створені прилади для критичного розгляду та засвоєння понять "тензор інерції" та "еліпсоїд інерції", яким приділяють недостатньо уваги в сучасних підручниках з механіки для вишів. Наприкінці статті ми пообіцяли розповісти про низку демонстрацій, які ілюструють суттєвий вплив сили тертя на стійкість обертального руху твердого тіла.

Цим питанням ми зацікавились у зв'язку з конструюванням дзиг, які б помітно відрізнялися за формою і розподілом маси від традиційних. Ми помітили, що умови стійкості дзиг можуть значно відрізнятися від тих, які відомі для випадку відсутності зовнішніх сил і моментів сил. З одного боку, дзиги не завжди стійко обертаються навіть навколо вільних осей з максимальним моментом інерції. З другого боку, деякі тіла доволі стійко оберталися навколо осей, які не збігалися з вільними осями. Саме ці експериментальні факти спонукали нас до більш детального дослідження обертального руху тіла на горизонтальній поверхні, а також до створення відповідних демонстраційних приладів.

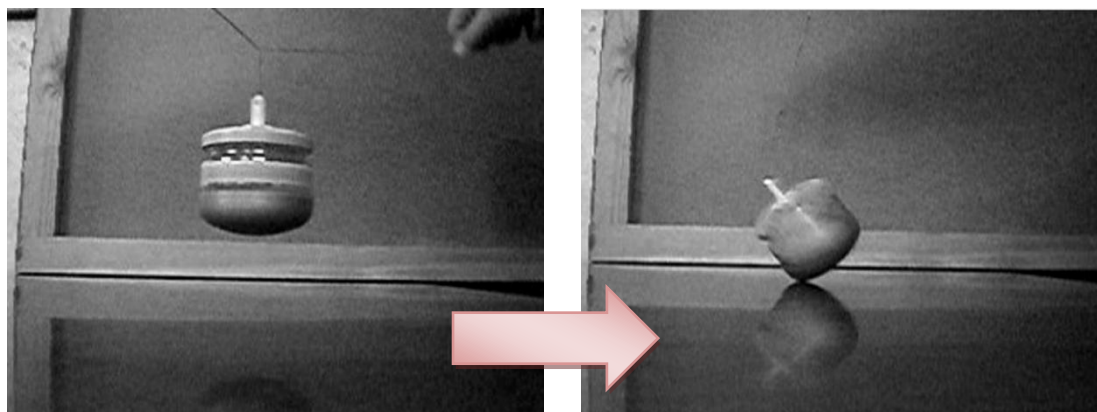
При цьому ми намагалися розробляти демонстрації, які б задовольняли такі умови. По-перше, щоб багатьом учням і студентам вони здавалися парадоксальними і могли зацікавити їх своєю несподіваністю. По-друге, щоб демонстраційні прилади були відносно простими у виготовленні та не потребували коштовних матеріалів. Ми сподівалися на те, що знайдуться такі учні та студенти, які, побачивши наші демонстрації, захочуть самостійно їх відтворити, щоб додатково їх дослідити і зняти з них ореол парадоксальності. Проте не передбачалося, що підготовлені нами демонстраційні досліди знайдуть просте пояснення після засвоєння невеличкої чергової порції навчального матеріалу з фізики. У деяких випадках для цього потрібно буде докласти чимало зусиль. Отже, цього року **мета** статті полягає в презентації створених демонстраційних приладів, які б звертали увагу учнів і студентів на вплив сили тертя на обертальний рух твердого тіла і спонукали їх до власних експериментальних та теоретичних досліджень у цьому напрямку.

Розпочнемо з відомої задачі про зупинку циліндра, розкрученого навколо його вертикально розташованої осі, яке відбувається за рахунок тертя з горизонтальною поверхнею (її умову можна знайти в [3-5]). При розв'язуванні зазвичай вважають, що положення осі циліндра не буде змінюватися до його повної зупинки. А чи буде справджуватися таке припущення в експерименті? На мал. 1 можна побачити, як торкання до горизонтальної поверхні збурює рух циліндра, який до того цілком стійко обертався навколо вертикальної осі. Отже, хоча висота циліндра не входить до кінцевих формул, які наведені в розв'язках задач, вона може мати значення!



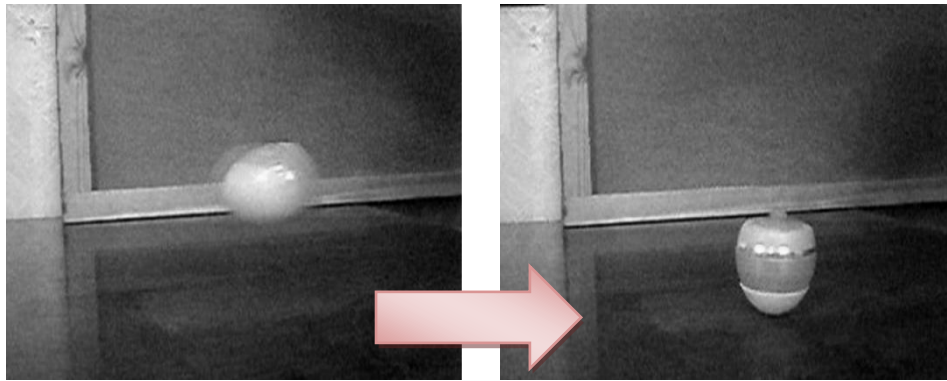
Мал. 1. Збурення стійкого обертання циліндра навколо вертикальної осі торканням до горизонтальної поверхні

Придивившись до цього тіла, спостерігачі можуть прийти до висновку, що справа в пласкій формі нижньої частини тіла. Ось тут можна показати їм, що згладжена форма нижньої частини не завжди допомагає. І навіть якщо у повітрі тіло поводило себе добре (стійко оберталося навколо вертикальної осі), торкання горизонтальної поверхні може збурити такий рух і при наявності згладженої форми нижньої частини тіла (див. мал. 2).



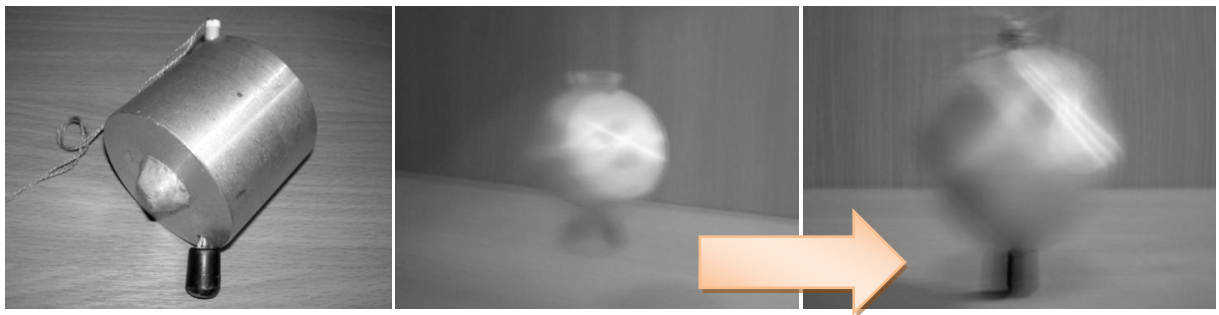
Мал. 2. Згладжена форма нижньої частини тіла не завжди рятує від збурювального впливу горизонтальної поверхні

Після такої демонстрації збурювального впливу горизонтальної поверхні на рух тіл доречно показати, як та ж сама поверхня може заспокоювати рух іншого тіла і примушувати його стійко обертатись навколо вертикальної осі. На мал. 3 відображена саме ця ситуація.



Мал. 3. Заспокійливий вплив горизонтальної поверхні

Цікаво, що дзига іноді може стійко обертатися навколо осі, що не збігається з жодною з вільних осей. Для демонстрації цього факту ми скористалися суцільним "сферичним" циліндром, центральний еліпсоїд інерції якого є сферою. Такий циліндр може вільно обертатися навколо будь-якої осі, що проходить через його центр мас. Щоб розбалансувати нашу дзигу в динамічному, але не в статичному сенсі, ми прикріпили два однакових шматочки герметика в центрі обох торців циліндра. При цьому центр мас дзиги залишився на осі дзиги, але тепер ця вісь не збігалася з жодною з осей центрального еліпсоїда інерції. Розкручувалася дзига таким самим способом, як і в попередніх випадках. При цьому миттєва кутова швидкість явно не була спрямована вздовж осі дзиги. Але після торкання поверхні рух швидко стабілізувався: вісь обертання ставала вертикальною, а центр мас займав найвище можливе положення (див. мал. 4). Звичайно, такого б не сталося, якщо б ми не обладнали нашу дзигу "ковпачком стійкості".



Мал. 4. Дзига, яка на поверхні обертається стійкіше, ніж у повітрі.

Розглянемо ще один загальновідомий приклад дзиги, дивна поведінка якої спричиняється силою тертя. Дзига Томсона за формою нагадує гриб і складається з кульки зі зрізаною верхівкою та розташованої в центрі зрізу ніжки, за яку тримаються при розкручуванні дзиги. Якщо дзига не розкручена, то в положенні стійкої рівноваги на горизонтальній поверхні її центр мас знаходиться нижче геометричного центра сферичної частини поверхні дзиги, а ніжка спрямована догори [9].

Якщо дзигу Томсона розкрутити в зазначеному положенні (ніжкою "гриба" догори), то через дію сили тертя її центр мас буде поступово підніматися, а вісь фігури все більше і більше нахилитися. Зрештою це призводить до перекидання дзиги. Вона стає на ніжку. Вісь фігури все більше і більше наближається до вертикального положення. У такому положенні (шапкою "гриба" догори) дзига Томсона продовжує свій обертальний рух, якщо швидкість обертання не встигла зменшитися до критичного значення.

На мал. 5 можна побачити не лише дзигу Томсона, а й те, з якою зацікавленістю за її поведінкою спостерігають як діти, так і дорослі. Зазначимо, що спостерігачами на фото з дорослими є два видатних фізики (Н. Бор і В. Паулі). Ці світлини можна легко знайти в мережі Internet.

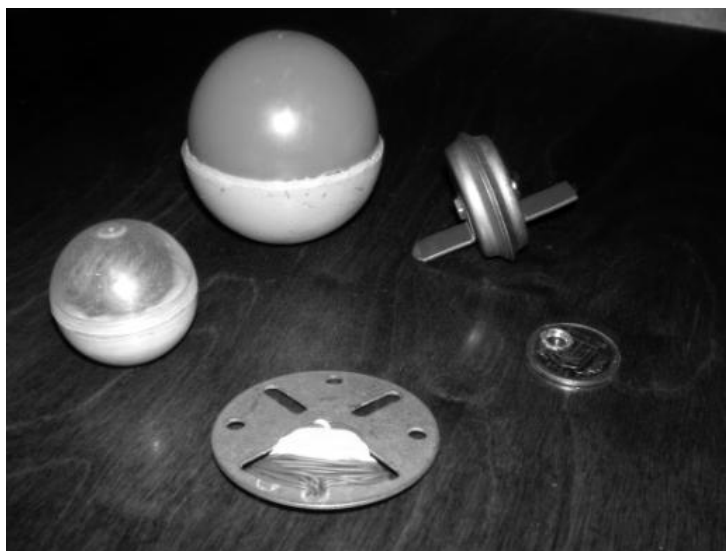


Мал. 5. Дзига Томсона цікавила не лише дітей, а й видатних фізиків

Той, хто спробує зробити власний екземпляр дзиги Томсона, зіткнеться з такими проблемами:
 – необхідність витримувати при виготовленні дзиги доволі точні пропорції між шапкою та ніжкою;
 – для вдалої демонстрації ефекту перекидання дзиги потрібна значна початкова швидкість обертального руху.

Нами запропоновано інші варіанти перекидних дзиг, перший з яких був виготовлений з пластикової кульки з використаного вже кулькового дезодоранту. Ми розпиляли її навпіл, а після заповнення однієї півкулі пластиліном з'єднали знову. У подальшому серед старих дитячих іграшок були знайдені вже готові тонкостінні пластикові кульки, які склалися з двох половинок. На мал. 6 серед інших зразків можна побачити одну з таких кульок, нижню частину якої ми заповнили герметиком, а у верхню – поклали клубочок кольорової (синьої) нитки. Різнокольорове забарвлення двох півкуль дозволяє чітко фіксувати перекидання дзиги під час її руху.

Для виготовлення сферичної перекидної дзиги більшого розміру, яку можна було б демонструвати у великій аудиторії, ми використали половинку м'яча для кидання (із суцільної гуми) і сферичну частину від тонкостінного подарункового яйця, у якому була схована дитяча іграшка.



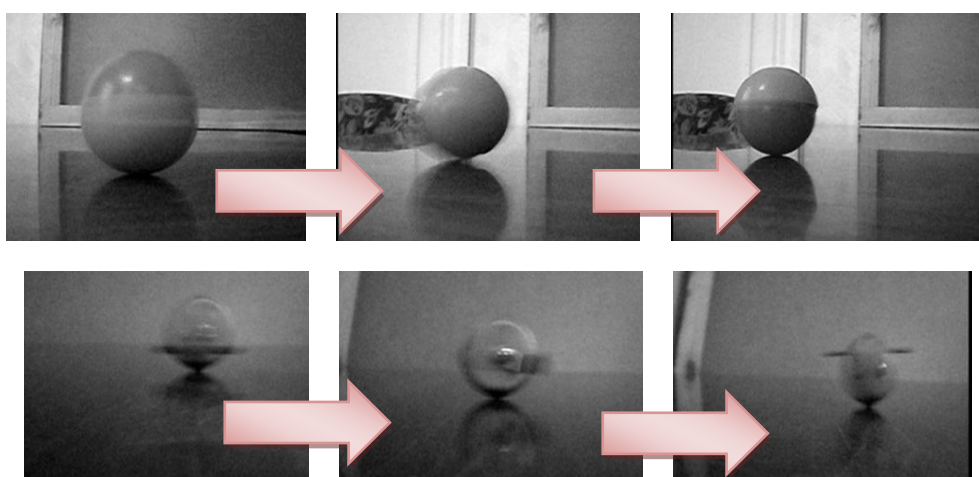
Мал. 6. Зразки саморобних перекидних дзиг

На цьому ж фото можна побачити ще три перекидні дзиги. Одна з них – це просто монета, в якій висвердлений круглий отвір, центр якого не збігається з центром монети. Якщо поставити монету на ребро отвором догори і надати їй обертання навколо вертикальної осі, то через деякий час вона, продовжуючи обертатися, перекинеться так, щоб отвір опинився внизу (а центр мас максимально піднявся).

Для виготовлення іншої подібної дзиги потрібна кругла пластина з дитячого металевого конструктора і шматок дроту. Користуючись уже готовими отворами в пластині, можна легко закріпити дріт так, щоб центр мас отриманої дзиги, не виходячи з площини пластини, пересунувся від її геометричного центра. Зрозуміло, що для демонстрування ефекту перекидання дзиги тягарець із дроту на початку має розташуватися внизу.

Останній зразок перекидної дзиги, який можна побачити на мал. 6, зібраний з дитячого конструктора. Зміщення центра мас тут досягається за рахунок прикріплення кутиків з двох боків диска. На початку демонстрації диск треба ставити на горизонтальну поверхню так, щоб кутики були внизу.

Зазначимо, що для демонстрації в аудиторії більше підходять варіанти сферичної перекидної дзиги і диска з кутиками. Вони чітко демонструють ефект і не потребують особливої майстерності від демонстратора. На мал. 7 можна побачити ці прилади в дії.



Мал. 7. Демонстрація поведінки сферичної і дискової перекидних дзиг

Підсумовуючи вищевикладене, зупинимося на таких **висновках**. По-перше, проведено експеримент, який показав, що сила тертя між горизонтальною поверхнею і поставленим на неї розкрученим навколо вертикальної осі циліндром може призвести до такої його поведінки, яка зазвичай не передбачається в

розв'язку відповідної теоретичної задачі, текст якої можна знайти у багатьох відомих задачниках з фізики. Отже, слід пам'ятати, що математичні моделі, які беруться за основу при розв'язуванні теоретичних задач, не завжди підтверджуються в експерименті.

По-друге, підготовлено демонстрації, які показують, що сила тертя може як збурювати стійке обертання тіла, розкрученого навколо вертикальної осі, так і навпаки – заспокоювати майже хаотичну поведінку дзиги.

По-третє, створено нові різновиди перекидних дзиг, за допомогою яких можна демонструвати ті самі фізичні ефекти, що і за допомогою дзиги Томсона. Але наші дзиги простіші у виготовленні.

Що стосується перспектив наших подальших досліджень, то цікавим є питання незвичної поведінки кельтських каменів, яка теж пов'язана з впливом сили тертя. Не дивлячись на те, що теоретичні питання динаміки кельтських каменів доволі складні [2], демонстраційні прилади можна виготовити в домашніх умовах.

Використані джерела

1. Атаманчук П. Цілезорієнтована підготовка студентів-фізиків до успішної постановки демонстраційного експерименту / П. Атаманчук, В. Мендерецький // Наукові записки. – Випуск 66. – Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2006. – Частина 1. – С. 12-18.
2. Борисов А.В. Странные аттракторы в динамике кельтских камней / А.В. Борисов, И.С. Мамаев // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, №4 – С. 407-418.
3. Задачи по физике / [Воробьев И.И., Зубков П.И., Кутузова Г.А. и др.]; под ред. О.Я. Савченко. – [2-е изд., перераб.]. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 416с., ил.
4. Иродов И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", М., 1979 г., 368 с. с илл.
5. Иродов И.Е. Сборник задач по общей физике / И.Е. Иродов, И.В. Савельев, О.И. Замша. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975 г. – 320 с., ил.
6. Кенева І.П. Розвиток критичного мислення засобами демонстраційного експерименту з динаміки обертального руху твердого тіла / І.П. Кенева, Р.В. Лутай, Ю.П. Мінаєв // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Випуск 99. Серія : педагогічні науки : – Чернігів, 2012. – С. 198-202.
7. Опачко М. Дидактичний менеджмент у процесі постановки демонстраційного фізичного експерименту / М. Опачко // Наукові записки. – Випуск 82. – Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2009. – Частина 2 – С. 320-324
8. Палачаніна І. Інтерактивний метод навчання в підготовці майбутніх офіцерів / І. Палачаніна, В. Фірчук // Наукові записки. – Випуск 108. – Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2012. – Частина 1. – С. 97-101.
9. Сивухин Д.М. Общий курс физики Т.1: Механика / Д.М. Сивухин – М., 1974. – 520 стр. : ил.
10. Халперн Д. Психология критического мышления / Д. Халперн. – СПб. : Издательство "Питер", 2000. – 512 с. : ил. – (Серия "Мастера психологии").

Kenieva I.P., Lutaj R., V., Minaev Yu.P.

HOMEMADE DEVICES TO DEMONSTRATE THE INFLUENCE OF FRICTION ON THE ROTATION OF RIGID BODY

The authors offer demonstration experiments on the rotational motion of a rigid body, related to the effect of the friction.

Key words: *critical thinking, demonstration experiment, rotational motion of a rigid body, friction.*

Стаття рекомендована кафедрою фізики та методики її викладання Запорізького національного університету.

Стаття надійшла до редакції 19.03 2013