10/10

І наймудрішому є ще чого навчитися.

Джордж Сантаяна

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Фізика в школах України

10/10

№ 10 (158) ТРАВЕНЬ 2010 р. • ЗАСНОВАНИЙ У СЕРПНІ 2003 р. • ВИХОДИТЬ ДВІЧІ НА МІСЯЦЬ •

За сприяння Міністерства освіти і науки України • Учасник проекту: Фізико-математичний ліцей № 27 м. Харкова

Вивчення обертального руху в класах фізико-математичного профілю

Ржепецький В. П., Сурмило О. І.,
Криворізький обласний ліцей-інтернат для сільської молоді, м. Кривий Ріг

Програмою з фізики для 10 класу фізико-математичного профілю передбачене вивчення обертального руху в обсязі близько 5 годин [1]. У методичній пресі інколи з'являються публікації, що стосуються вивчення даної теми (див., наприклад, [2]). Але складність матеріалу та недостатня математична підготовка учнів вимагає пошуку таких підходів до викладення теми, які забезпечували б свідоме засвоєння матеріалу. Далі пропонується один з варіантів вивчення цієї теми, апробований в нашому ліцеї.

Особливістю даного підходу є значна кількість демонстраційних дослідів, що ілюструють виклад матеріалу. У багатьох демонстраціях активну роль виконують учні, що значно пожвавлює цей урок-лекцію. Ми вважаємо доцільним вивчення даної теми розділити на такі смислові частини:

1. Кінетична енергія тіла, що обертається. Момент інерції.
2. Скочування тіла з похилої площини.
3. Основне рівняння динаміки обертового руху.
4. Момент імпульсу та закон збереження моменту імпульсу.
5. Вільні осі обертання. Гіроскопи та їх застосування.

Вивчення матеріалу слушно розпочати з повторення кутової швидкості та її зв'язку з лінійною. Далі розглядаємо матеріальну точку m, яка рухається рівномірно по колу радіуса R (*рис. 1*).

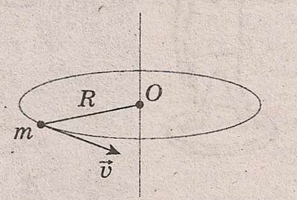

Рис. 1

Якщо швидкість точки дорівнює v, то її кінетична енергія дорівнює:

$$E_к = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

Використавши формулу зв'язку між лінійною швидкістю і кутовою, для кінетичної енергії точки одержимо:

$$E_к = \frac{m\omega^2 R^2}{2} = \frac{mR^2\omega^2}{2}.$$

Позначивши добуток mR^2 літерою I, матимемо:

$$E_к = \frac{I\omega^2}{2}. \quad (2)$$

Схожість формул (1) і (2) виправдовує введення величини I, яку називають моментом інерції матеріальної точки відносно осі обертання.

Наступним кроком буде знаходження кінетичної енергії системи двох (а потім і більшої кількості) матеріальних точок, що обертаються з однаковою кутовою швидкістю, перебуваючи на різних відстанях від центра.

Для спрощення міркувань рекомендуємо маси точок брати однаковими, а співвідношення між радіусами якомога простішими. Наприклад: $m_1 = m_2$, $R_2 = \frac{R_1}{2}$.

Кінетична енергія системи дорівнює сумі кінетичних енергій матеріальних точок системи. Після перетворень одержимо:

$$E_к = \frac{\frac{5}{4}m_1R_1^2\omega^2}{2} = \frac{I\omega^2}{2},$$

де $I = \frac{5}{4}m_1R_1^2$ — момент інерції системи (у даному прикладі — двох матеріальних точок). Такими прикладами підводимо учнів до думки, що момент інерції залежить як від маси системи, так і від розташування точок у просторі. Завершуємо виклад першого питання записом виразів для моментів інерції обруча, стрижня і диска відносно осей, що проходять через центри мас цих тіл перпендикулярно до площини, в якій тіла розташовані.

Друге питання починаємо з проблемної демонстрації. Показуємо учням два однакових диски, позначені цифрами 1 і 2. Зважуванням переконуємо, що маси дисків однакові. Проте при скочуванні з похилої площини один з дисків завжди випереджає другий (*рис. 2*).

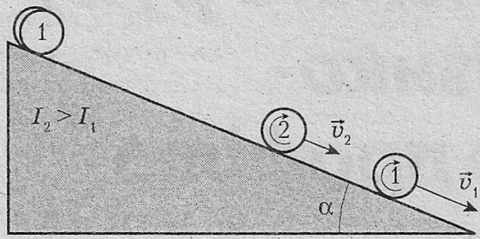

Рис. 2

Аналіз демонстрації приводить до висновку, що диски мають різні моменти інерції, тому в кінці похилої площини вони мають однакові кінетичні енергії за різної кутової швидкості. Якщо тіло зісковзує з похилої площини, то його потенціальна енергія перетворюється в кінетичну енергію лише поступального руху, а при скочуванні диска його потенціальна енергія перетворюється в кінетичну енергію як поступального, так і обертального руху:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}. \qquad (3)$$

Перетворення енергії за участі кінетичної енергії обертального руху демонструємо також на прикладі скочування з похилої площини тіла з малим радіусом кочення (*рис. 3*) і на маятнику Максвелла.

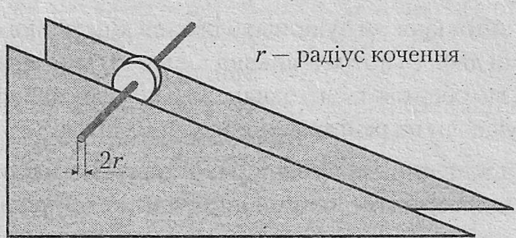

Рис. 3

Щоб встановити зв'язок між моментом сили, моментом інерції і кутовим прискоренням, використовуємо установку, зібрану на основі диска, що обертається (*рис. 4*).

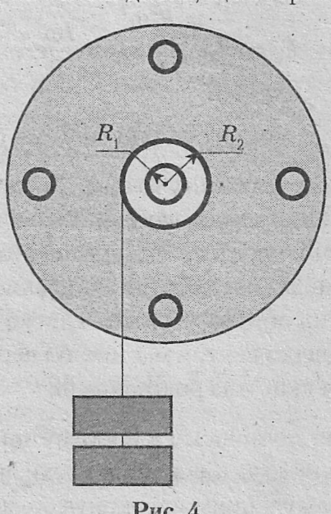

Рис. 4

Для забезпечення наочності вісь диска розташовуємо горизонтально. Момент сили змінюємо, змінюючи масу важків та радіус шківа, на який намотується нитка. Момент інерції диска можна змінювати за допомогою кільцевих магнітів, розташовуючи їх попарно симетрично відносно осі обертання біля краю диска. Зв'язок між моментом сили M, моментом інерції I та кутовим прискоренням ε оцінюємо якісно і записуємо основне рівняння динаміки обертального руху:

$$M = I\varepsilon. \qquad (4)$$

Звертаємо увагу учнів на подібність рівняння (4) і спрощеної формули другого закону Ньютона:

$$F = ma. \qquad (5)$$

Момент імпульсу (ми спочатку називаємо його обертальним імпульсом) вводиться з використанням методу аналогій: імпульс $p = mv$; обертовий імпульс:

$$L = I\omega. \qquad (6)$$

У найпростішому випадку матеріальної точки:

$$L = mvR. \qquad (7)$$

Момент імпульсу має таку ж властивість, що й імпульс: в ізольованій системі він зберігається. Для системи з двох тіл закон збереження моменту імпульсу має вигляд:

$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = I_1'\omega_1' + I_2'\omega_2'. \qquad (4)$$

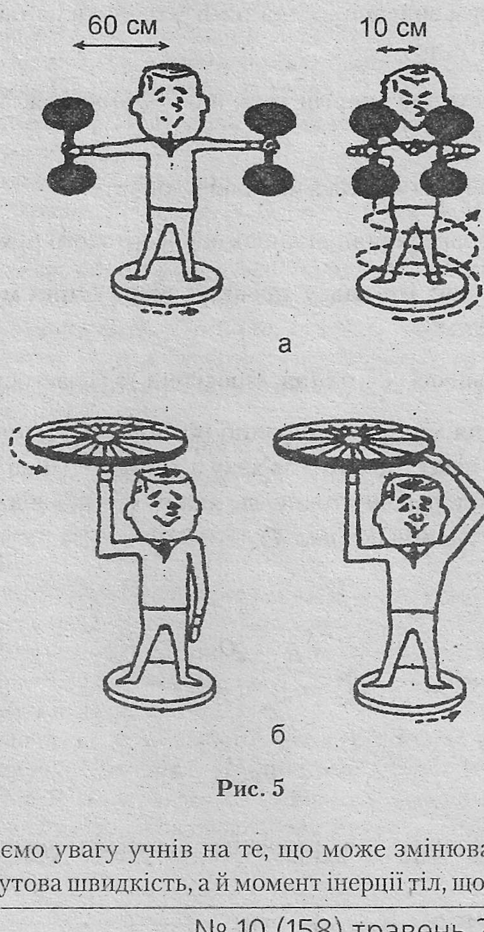

Рис. 5

Звертаємо увагу учнів на те, що може змінюватись не лише кутова швидкість, а й момент інерції тіл, що входять у систему. Закон збереження моменту імпульсу демонструємо за допомогою лави Жуковського. Для збільшення ефекту демонстратор на лаві повинен в руках тримати гантелі (*рис. 5*).

Без детальних коментарів показуємо також, що момент імпульсу — величина векторна. Демонстратору на лаві даємо в руки попередньо розкручений масивний диск (гіроскоп). Зміна лише напрямку осі обертання диска призводить до появи обертального руху демонстратора з лавою Жуковського. Акцентуємо увагу на безінерційності цього обертання і вказуємо на використання цього прийому для орієнтації космічних станцій.

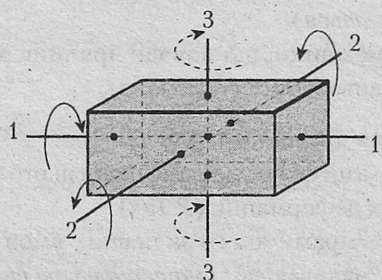

Рис. 6. Прямокутний паралелепіпед. Обертання навколо осей 1 і 2 стійке, навколо осі 3 брусок обертатись «не хоче»

Підвищений інтерес викликає в учнів і серія демонстрацій, які ілюструють вільні осі обертання. Зауважимо, що останнє питання розглядається лише в плані ознайомлення і не супроводжується записом рівнянь руху. Демонструємо вільне обертання в процесі кидання дерев'яного бруска, що має форму паралелепіпеда з різними довжинами сторін. Відзначаємо, що брусок стійко обертається лише навколо двох осей — з найбільшим і найменшим моментами інерції (*рис. 6*). Даємо визначення вільної вісі обертання і демонструємо з допомогою відцентрової машини обертання палички, диска, ланцюжка (*рис. 7*).

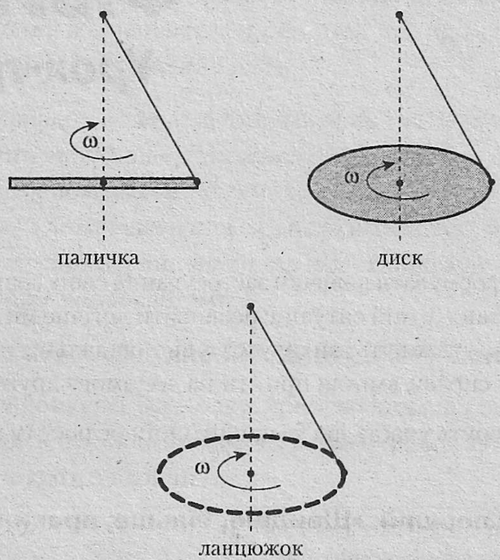

Рис. 7.

Закінчуємо тему демонстрацією гіроскопічного ефекту за допомогою великого гіроскопа. Показуємо стійкість гіроскопа, демонструємо його прецесію, наводимо приклади застосування гіроскопа в різноманітних технічних пристроях.

Література

1. *Програма* для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10-12 класи. Профільний рівень. — Харків: ВГ «Основа», 2010.
2. *Попова Т.* Динаміка обертального руху та його аналогія і подібність з поступальним рухом // Фізика та астрономія в школі.— 2001.— № 2.— С. 22–25.
3. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. Т. 1. Механика: Учеб. пособие для вузов.— М.: Наука, 1989.— 576 с.