

Міністерство освіти та науки України  
Криворізький державний педагогічний університет

Теорія та методика  
навчання математики,  
фізики, інформатики

*Збірник наукових праць*

Том 2

Кривий Ріг  
Видавничий відділ КДПУ  
2001

## ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ» В ШКОЛІ

В.П. Ржепецький, В.О. Ківа, Ю.О. Курбатов  
м. Кривий Ріг, Криворізький державний педагогічний університет

Програмою з фізики для шкіл з поглибленим вивченням фізики передбачено вивчення оберտального руху твердого тіла в 9 класі в об'ємі 9 годин. В цій же програмі в 10 класі пропонується в першому розділі повторити основні закони механіки, включаючи закономірності, що описують обертальний рух твердого тіла. Складність матеріалу та недостатня математична підготовка учнів 9 класу вимагає пошуку таких підходів до викладу теми, які б забезпечували свідоме засвоєння матеріалу. Нижче пропонується один з варіантів викладу теми «Обертальний рух», апробований в деяких ліцеях м. Кривого Рогу та на I курсі індустріально-педагогічного факультету університету.

Особливістю даного підходу є значна кількість демонстраційних дослідів, що ілюструють виклад матеріалу. Нам здається доцільним вивчення цієї теми розділити на наступні смислові частини:

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

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

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

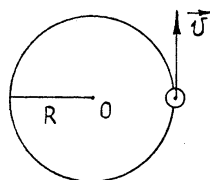


Рис. 1.

$$K = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

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

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

Позначивши добуток  $mR^2$  літерою  $I$ , матимемо:

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

Схожість формул (1) і (2) виправдовує введення величини  $I$ , яку називають моментом інерції матеріальної точки відносно вісі обертання. Наступним кроком буде знаходження кінетичної енергії системи двох (а потім більшої кількості) матеріальних точок, що обертаються з однаковою кутовою швидкістю на різних відстанях від центру.

Для спрощення міркувань рекомендуємо маси точок брати однаковими, а співвідношення між радіусами якомога простішими.

Наприклад:  $m_1 = m_2$ ,  $R_2 = R_1/2$ . Кінетична енергія системи дорівнює сумі кінетичних енергій матеріальних точок системи.

Після перетворень одержимо:

$$K = \frac{\frac{5}{4} m_1 R_1^2 \omega^2}{2},$$

де  $I = \frac{5}{4} m_1 R_1^2$  – момент інерції системи (в даному прикладі – двох матеріальних точок). Такими прикладами підводимо учнів до думки, що момент інерції залежить як від маси системи, так і від розташування точок системи в просторі. Закінчуємо виклад записом виразів для моментів інерції обруча, стержня і диска відносно осей, що проходять через центри мас цих тіл перпендикулярно до них.

Друге питання починаємо з проблемної демонстрації. Показуємо учням два однакових диска, зважуванням переконаємо, що диски мають також і однакові маси. Проте під час скочування з похилої площини один з дисків завжди випереджає другого (рис. 2). Аналіз демонстрації приводить до висновку, що диски мають різні моменти інерції, тому в кінці похилої площини вони мають однакові кінетичні енергії при різній кутовій швидкості.

При зісковзуванні тіла з похилої площини 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:

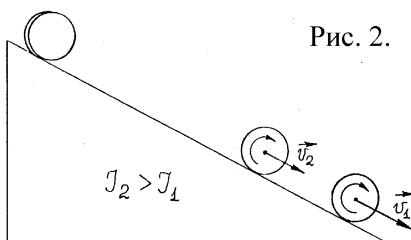


Рис. 2.

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

Перетворення енергії з участю кінетичної енергії обертального руху демонструємо також на прикладі скочування тіла з малим радіусом кочення (рис. 3) і на маятнику Максвелла.

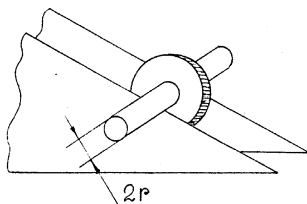


Рис. 3.

$r$  – радіус кочення

Для встановлення залежності між моментом сили, моментом інерції і кутовим прискоренням використовуємо установку, зібрану на основі диска, що обертається (рис. 4).

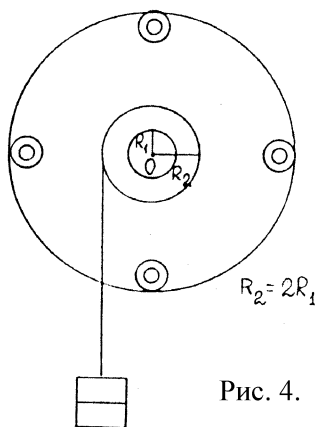


Рис. 4.

Для забезпечення наочності, вісь обертання диска розташовуємо горизонтально. Змінювати момент інерції диска можна за допомогою кільцевих магнітів, розташовуючи їх симетрично біля краю диска. Якісно оцінюємо зв'язок між моментом сили  $M$ , моментом інерції  $I$  та кутовим прискоренням  $\varepsilon$  і записуємо основне рівняння динаміки обертального руху:

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

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

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

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

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

В найпростішому випадку матеріальної точки

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

Момент імпульсу має таку ж властивість, що й імпульс – в ізольованій системі він зберігається:

$$I_1\omega_1+I_2\omega_2=I_1'\omega_1'+I_2'\omega_2'. \quad (8)$$

Звертаємо увагу учнів на те, що може змінюватись не лише кутова швидкість, а й момент інерції системи. Закон збереження імпульсу демонструємо з допомогою лави Жуковського. Для збільшення ефекту демонстратор на лаві повинен в руках тримати гантелі (рис. 5). Без детальних коментарів показуємо також, що

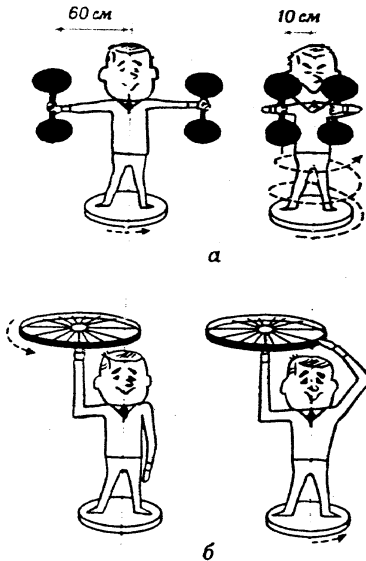


Рис. 5.

момент імпульсу – величина векторна. Демонстратору на лаві даємо в руки попередньо розкручений масивний диск (гіроскоп). Зміна лише напрямку вісі обертання диска приводить до появи обертального руху демонстратора з лавою Жуковського. Акцентуємо увагу на безінерційності цього обертання і вказуємо на використання цього прийому для орієнтації космічних станцій.

Підвищений інтерес в учнів викликає і серія демонстрацій, які ілюструють вільні вісі обертання. Зауважимо, що останнє питання розглядається лише в плані ознайом-

лення і не супроводжується записом рівнянь руху. Демонструємо

вільне обертання дерев'яного бруска (в процесі кидання), що має форму паралелепіпеда з різними довжинами сторін. Відмічаємо, що брусок стійко обертається лише навколо двох осей – з найбільшим і найменшим моментами інерції. Даємо означення вільної осі обертання і демонструємо з допомогою відцентрованої машини обертання палички, диска, ланцюжка (рис. 6).

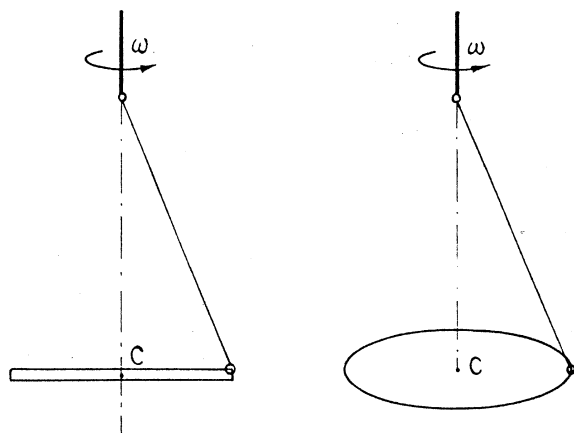


Рис. 6.

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