

Барильник-Куракова О. А. Особливості вивчення теми «Динаміка обертального руху твердого тіла» у 9 класі з поглибленим вивченням фізики / О. А. Барильник-Куракова, В. Д. Шарко // Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми: Зб. наук. праць Кам'янець – Подільського державного університету. Серія педагогічна. Випуск 12. – 2006. – С. 318-321.

В.Д.Шарко, О.А.Барильник-Куракова.

Херсонський державний університет

Особливості вивчення теми «Динаміка обертального руху твердого тіла» у 9 класі з поглибленим вивченням фізики.

В статті висвітлюються питання методики вивчення теми «Динаміка обертального руху твердого тіла» у 9 класі з поглибленим вивченням фізики.

The article describes the method's question of studying theme "Dynamics of rotation of rigid body" in 9-th form with deepened studying of physics.

Ключові слова: динаміка, обертання, тверде тіло.

dynamics, rotation, rigidbody

Традиційна освіта, основною метою якої була передача досвіду новим поколінням у вигляді системи знань, не відповідає в повній мірі запитам суспільства щодо підготовки випускників шкіл, які б могли адаптуватися до змін, що відбуваються в ньому, не забезпечує отримання ними практико-орієнтованих знань, які дозволили б реалізовувати їх потенційні здібності та були б гарантом їхньої соціальної захищеності.

В зв'язку з цим перед навчальними закладами стоїть конкретне завдання – підняти рівень освіти шляхом тісного поєднання загальноосвітнього, загальнокультурного і профорієнтаційного аспектів навчання, диференціації навчання з урахуванням індивідуальних особливостей учнів: їх інтересів, здібностей, нахилів.

Одним із напрямків здійснення диференційованого навчання за інтересами – є поглиблене вивчення окремих дисциплін. Навчання учнів у цих класах за спеціальними програмами дає педагогічний ефект, що проявляється у підвищенні результативності навчально-виховної роботи, яка відбувається завдяки об'єднанню в одному колективі учнів зі спільними навчальними інтересами [7].

Вивчення механіки в курсі фізики середньої школи має велике значення для розв'язання освітніх, виховних і розвиваючих завдань навчання. Враховуючи те, що знання з механіки використовуються при вивченні всіх розділів фізики, проблема підвищення їх якості є актуальною.

Слід відзначити, що механічні процеси є формою руху, яка є найбільш доступною для спостереження. В механіці вводяться основні поняття, які виступають як інструмент пізнання в науці – фізиці. Саме при вивченні механіки учні ознайомлюються з першою фізичною теорією – класичною механікою Ньютона, а це має велике значення для формування уявлень про фізичну картину світу [1].

З означених причин саме цей розділ і був нами обраний для дослідження.

Розв'язання основних завдань навчання у класах з поглибленим вивченням фізики, на відміну від звичайних, має специфічні особливості, які і треба було визначити і вивчити під час дослідження.

Виходячи з цього, були поставлені такі завдання дослідження:

- проаналізувати програму поглибленого вивчення фізики в загальноосвітніх школах;
- проаналізувати зміст підручників з фізики для звичайних 9-х класів з метою виявлення обсягу і наявності в них матеріалу, передбаченого програмою для поглибленого вивчення теми «Обертальний рух твердого тіла»;
- визначити специфічні особливості змісту поглибленого вивчення цієї теми;
- дослідити рівень підготовки учнів з математики та встановити достатність його для засвоєння теми «Обертальний рух твердого тіла»;
- розробити методiku поглибленого вивчення цього розділу.

Аналіз програми з фізики показав, що у змісті цього курсу можна виділити інваріантний компонент, теми, що вивчаються у всіх класах, і

варіативний - нові теми, що пропонуються тільки для класів з поглибленим вивченням фізики [9].

Вивчення матеріалу, що входить до змісту інваріантного компоненту, у переважній більшості вчителів не викликає труднощів, тому що вони можуть використовувати підручники для 9 класу з його викладом [3], [6], а також методичні рекомендації до вивчення даних тем у курсі механіки.

Зовсім інших підходів вимагає вивчення тем варіативного компоненту. Основні труднощі при вивченні цих тем полягають у тому, що навчальних посібників, якими могли б користуватися учні для опанування матеріалом, немає. Вчителю, перш ніж розробляти конспекти уроків, необхідно знайти доступні для учнів підходи до вивчення теоретичного матеріалу з цих тем, логічно упорядкувати його, продумати форми його запису учнями. Крім того, враховуючи, що у стабільних збірниках задач з фізики [5],[10] задачі з цих тем відсутні, вчителю необхідно підібрати задачі для закріплення матеріалу з посібників для вищої школи [2], [8], [11].

За програмою на вивчення розділу «Обертальний рух твердого тіла» відводиться 9 годин. Нею передбачено вивчення таких понять як кутова швидкість, кутове прискорення, кутове переміщення та динаміка обертального руху. Аналіз літератури показав, що у стандартних підручниках ці питання не висвітлюються, а у посібнику для факультативного курсу фізики [4] розглядаються елементи кінематики: вводяться закони кінематики лише у формі для проєкцій.

Зауважимо, що у цьому посібнику виведення основного рівняння динаміки обертального руху пропонується здійснювати із залученням експерименту (індуктивним шляхом). Проте, аналіз опису постановки досліду та перехід до виведення II закону Ньютона для обертального руху показав, що та частина матеріалу, що пов'язана із виведенням залежності кутового прискорення від властивостей тіла, що обертається є більш доступною, ніж інформація про залежність кутового прискорення від моменту сил, що діють на тіло, яке обертається.

Ми не заперечуємо можливість використання цього шляху, але більш доступним може бути дедуктивний шлях. Тому, що під час виведення основного рівняння руху тіла, що обертається, активно використовується аналогія із поступальним рухом. Процедура уявного розбиття тіла, що обертається, на матеріальні точки, як засвідчує досвід, особливих труднощів в учнів не викликає.

З урахуванням зазначеного, методика вивчення динаміки обертального руху тіла виглядатиме так.

Перед вивченням цього питання необхідно звернути увагу учнів на те, що аналогічно до поступального руху, нерівномірне обертання твердого тіла характеризується кутовим прискоренням $\vec{\epsilon}$. Якщо обертання рівноприскорене, то модуль вектора $\vec{\epsilon}$ - сталий. Якщо нерівномірне – модуль вектора $\vec{\epsilon}$ змінюється. У подальшому ми будемо розглядати лише рівноприскорений обертальний рух твердого тіла.

До складу опорних знань входять елементи знань з кінематики поступального і обертального руху, динаміки поступального руху і статички. Це і обумовлює необхідність вивчення зазначених питань після засвоєння відповідних тем.

Опорними знаннями для засвоєння основних понять динаміки обертального руху виступають:

1. Матеріальна точка.
2. II закон Ньютона для поступального руху.
3. Момент сил.
4. Кутова швидкість.
5. Кутове прискорення.
6. Зв'язок тангенціального прискорення з кутовим прискоренням.

Ознайомлення учнів з динамікою обертального руху пропонуємо здійснити зі створення проблемної ситуації: чи можна застосовувати II закон

Ньютона $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ для обертального руху? Якщо не можна, то чому? І що

треба зробити, щоб можливо було його застосувати для обертального руху?

Для розв'язання проблеми пропонуємо розбити тіло, що обертається, на матеріальні точки.

Подальше засвоєння матеріалу пропонуємо здійснити у III-х можливих варіантах:

- 1) *самостійне виведення основного рівняння динаміки обертального руху твердого тіла;*
- 2) *виведення цього рівняння із застосуванням алгоритму дій, який надається;*

Прикладом такого алгоритму може бути:

1. Розбийте тіло, що обертається, на такі частини, які можна вважати матеріальними точками. Розгляньте одну з них.
2. З'ясуйте, яке прискорення буде мати ця матеріальна точка при нерівномірному обертанні тіла.
3. Запишіть у скалярній формі II закон Ньютона для неї.
4. Згадайте як пов'язані між собою тангенціальне прискорення з кутовим, запишіть це рівняння та підставте його у рівняння II закону Ньютона.
5. Обидві частини рівняння помножьте на радіус твердого тіла.
6. Пригадайте, що називається плечем сили та моментом сили. Запишіть формули для їх визначення.
7. З'ясуйте, що являється моментом сили у записаному вами II законі Ньютона.
8. Запишіть II закон Ньютона для розглядуваної вами матеріальної точки через ці величини.
9. Запишіть такі рівняння для кожної точки твердого тіла.
10. Додайте їх почлено.
11. Запишіть це рівняння для всього твердого тіла, що обертається з кутовим прискоренням ε .
12. З отриманого вами рівняння виразіть ε .

3) ознайомлення учнів з текстом виведення основного рівняння динаміки обертального руху.

Прикладом такого тексту може бути:

Пригадайте, що тіло, яке можна прийняти за матеріальну точку, отримує прискорення, якщо на нього діє сила, причому:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

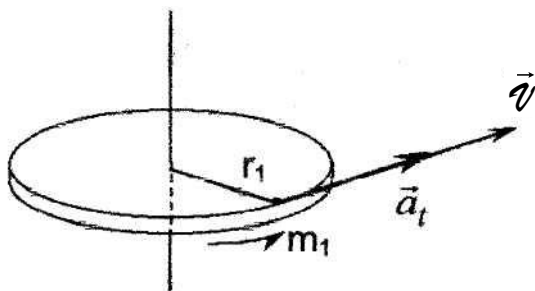
Тобто прискорення, яке отримує тіло, прямо пропорційне діючій силі і обернено пропорційне масі тіла, до якого прикладено силу.

Зверніть увагу на те, що при рівноприскореному обертанні твердого тіла є кутове прискорення $\vec{\epsilon}$.

Виникає запитання - від чого ж воно залежить? З якими фізичними величинами, що характеризують обертальний рух твердого тіла воно пов'язане?

Іншими словами: яке рівняння буде основним рівнянням динаміки для обертального руху твердого тіла?

Для того, щоб відповісти на це запитання, необхідно розглянути тверде тіло, що обертається навколо осі (мал. 1).



Мал. 1

Тверде тіло можна розбити на такі частини, які можна вважати матеріальними точками.

Розглянемо одну з таких точок масою m_1 .

При рівноприскореному обертанні точка m_1 буде мати тангенціальне прискорення \vec{a}_t , яке напрямлене по дотичній, причому $\vec{a}_t \uparrow \uparrow \vec{v}$, якщо швидкість обертання збільшується. Модуль тангенціального прискорення визначається за формулою $a_t = \epsilon r$.

Для точки m_1 - $a_{t1} = \epsilon r_1$.

Тоді за II законом Ньютона:

$$F_1 = m_1 a_{r1} = m_1 \varepsilon r_1$$

Якщо обидві частини рівняння помножити на r_1 , то одержимо:

$$F_1 r_1 = m_1 \varepsilon r_1^2 \quad (1)$$

Оскільки $\vec{F}_1 \uparrow \uparrow \vec{a}_t$ (за другим законом Ньютона), то r_1 буде плечем цієї сили відносно осі обертання, а $F_1 r_1$ - це *момент сили, що діє на матеріальну точку масою m_1 відносно цієї осі*:

$$M_1 = F_1 r_1$$

$m_1 r_1^2$ - це величина, яка отримала назву *моменту інерції* матеріальної точки відносно осі обертання. Її позначають буквою « I ». Вона є кількісною мірою інертних властивостей тіла, що обертається. Вимірюється у $[\text{кг} \times \text{м}^2]$. Є скалярною величиною.

$$I_1 = m_1 r_1^2$$

Якщо тіло розбити на частини, маси яких однакові, то моменти інерції частин (тобто цих матеріальних точок) не будуть однаковими, тому що різними будуть їх відстані до осі обертання.

Але, з іншого боку, в будь-якому твердому тілі завжди можна знайти певну кількість його частин, які мають однакову масу та знаходяться на однаковій відстані від осі обертання, - вони матимуть однакові моменти інерції.

Рівність (1) можна записати, ввівши поняття моменту сил і моменту інерції, так:

$$M_1 = I_1 \varepsilon$$

Такі рівняння можна записати для кожної точки твердого тіла:

$$M_1 = I_1 \varepsilon$$

$$M_2 = I_2 \varepsilon$$

.....

$$M_n = I_n \varepsilon$$

Додавши їх почленно, одержимо:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = (I_1 + I_2 + \dots + I_n) \varepsilon$$

Ліва частина рівняння являє собою вираз для моменту всіх зовнішніх сил, що діють на тверде тіло відносно осі обертання:

$$M = M_1 + M_2 + \dots + M_n$$

Права частина рівняння – момент інерції твердого тіла відносно осі обертання:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Отже для твердого тіла, що обертається з кутовим прискоренням ε , можна записати:

$$M = I \varepsilon \quad (2)$$

або

$$\varepsilon = \frac{M}{I} \quad (3)$$

Формули (2) і (3) являють собою дві форми запису основного рівняння динаміки *обертального руху твердого тіла* (через модулі всіх величин).

Таким чином, *момент сил, що діють на тіло, дорівнює добутку моменту інерції твердого тіла на кутове прискорення* (формула 2). Її називають рівнянням руху тіла, що обертається.

Або, кутове прискорення твердого тіла, що здійснює обертальний рух, прямо пропорційне моменту зовнішніх сил, що діють на тіло, та обернено пропорційне моменту інерції твердого тіла (формула 3). Це рівняння називають II законом Ньютона для обертального руху.

Ставимо проблемне питання: II закон Ньютона для поступального руху записується у векторній формі. Чи можна записати основне рівняння

динаміки обертального руху у векторній формі?

Розв'язання проблемної ситуації також пропонуємо у III-х варіантах:

- 1) *самостійне виведення основного рівняння динаміки обертального руху у векторній формі;*
- 2) *виведення цього рівняння за алгоритмом дій;*

Прикладом такого алгоритму може бути наступний порядок дій:

1. Пригадайте, момент сил та кутове прискорення є скалярними чи векторними величинами.
2. Як визначаються напрямки цих векторів.
3. З'ясуйте, чи завжди вектори \vec{M} і $\vec{\varepsilon}$ співпадають за напрямком.
4. Запишіть II закон Ньютона для обертального руху твердого тіла у векторній формі.

3) *ознайомлення учнів із текстом виведення II закону динаміки обертального руху у векторній формі.*

Прикладом такого тексту може бути:

Пригадайте, що момент сил, як і кутова швидкість та кутове прискорення, вважається векторною величиною. Вектор моменту сил \vec{M} - теж осьовий вектор і його напрямок теж визначається за правилом свердлика.

Вектори \vec{M} і $\vec{\varepsilon}$ завжди співпадають за напрямком. Тому формули (2) і (3) можна записати у векторній формі:

$$\vec{M} = I\vec{\varepsilon}$$

і

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I}$$

Далі учням можна запропонувати такі завдання на упорядкування знань:

- 1) Записати кінематичні і динамічні рівняння поступального руху тіла.
- 2) Порівняти з кінематичними і динамічними рівняннями обертального руху твердого тіла.

3) Зробити висновок.

В ході виконання запропонованого завдання з'ясуємо, що формули для визначення швидкості, прискорення, переміщення та зв'язку між ними, мають однаковий вигляд. Це дає підстави зробити висновок: закони, що описують поступальний і обертальний рухи мають однаковий вигляд і різні за характером рухи відбуваються за одними законами.

$$\vec{M} = I\vec{\varepsilon} \rightarrow \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I} \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 + \vec{a}t \rightarrow \vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon}t$$

$$S_x = \vartheta_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \rightarrow \varphi_x = \omega_{0x}t + \frac{\varepsilon_x t^2}{2}$$

$$\vartheta_x^2 - \vartheta_{0x}^2 = 2a_x S_x \rightarrow \omega_x^2 - \omega_{0x}^2 = 2\varepsilon_x \varphi_x$$

Для матеріальної точки $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{F}$.

Для обертального руху твердого тіла $\vec{\varepsilon} \uparrow\uparrow \vec{M}$

Таким чином, якщо рух матеріальної точки характеризується лінійним прискоренням \vec{a} , то обертальний рух твердого тіла - кутовим прискоренням $\vec{\varepsilon}$.

Якщо прискорення матеріальної точки визначається силами \vec{F} , діючими на неї, то кутове прискорення твердого тіла - моментом зовнішніх сил \vec{M} , що діють на нього.

Величина, яка аналогічна масі матеріальної точки m , в обертальному русі твердого тіла є момент інерції I . Він як і маса є кількісною мірою інертних властивостей тіла при обертальному русі.

Задачі з цієї теми доцільно розбити на 3 групи:

- задачі на визначення моменту інерції тіл правильної форми;
- задачі на застосування II закону Ньютона для

обертального руху;

- комбіновані задачі, що поєднують знання з динаміки та кінематики обертального руху.

До задач першої групи можна включити задачі на зразок таких:

1. Визначити момент інерції земної кулі відносно її осі обертання.
2. Визначити момент інерції однорідного стержня завдовжки 30 см і масою 100г відносно осі, перпендикулярної до стержня, яка проходить через його середину.
3. Із залізних брусків однакової маси виготовили циліндр і кулю (радіус основи циліндра дорівнює радіусу кулі). Яке з тіл має більший момент інерції.

До задач другої групи можна включити:

1. До обода однорідного диска, радіус якого дорівнює 0,2 м, прикладено дотичну силу 98,1 Н. Під час обертання на диск діє момент сили тертя 4,9 Нм. Визначити масу диска, якщо він обертається з прискоренням $100 \frac{1}{c^2}$.
2. Однорідний стержень завдовжки 1 м і масою 0,5 кг обертається у вертикальній площині навколо горизонтальної осі, що проходить через його середину. Визначити кутове прискорення стержня, якщо на нього діє момент сили 98,1 Н × м
3. Маховик, момент інерції якого дорівнює 63,6 кг × м², обертається з кутовим прискоренням $1,57 \frac{1}{c^2}$. Визначити момент сил гальмування, під дією яких диск зупиняється.

До задач третьої групи можна включити:

1. Маховик, радіус якого дорівнює 0,2 м, маса – 10 кг, з'єднаний з двигуном за допомогою привідного ремня (паса). Сила натягу паса, що рухається без проковзування, дорівнює 14,7 Н. Яку частоту обертання матиме маховик через 10 с після початку обертання? Маховик вважати однорідним диском.

Тертям знехтувати.

2. Вал масою 100 кг, радіус якого дорівнює 5 см, обертається з частотою 8 с^{-1} . До циліндричної поверхні вала притиснули гальмівну колоду з силою 40 Н, під дією якої вал зупинився через 10 с. Визначити коефіцієнт тертя.

3. Однорідний диск радіусом 0,2 м і масою 5 кг обертається навколо осі, що проходить через його центр мас перпендикулярно до його площини. Залежність кутової швидкості обертання від часу задається рівнянням $\omega = 4 + 8t$. Визначити дотичну силу, прикладену до обода диска. Тертям знехтувати.

Застосування запропонованих текстів задач, дозволяє залучити учнів до використання вивченого теоретичного матеріалу до конкретних ситуацій.

Але психологами доведено, що складання умов задач є більш складним і результативним завданням для учнів. Виконуючи їх, школярі навчаються «бачити» фізику в житті, визначати зв'язок природних явищ з тим, що вивчається на уроці, виділяти суттєві моменти у конкретному явищі та формулювати їх у вигляді задач. Тому доцільно залучати учнів до самостійного складання і розв'язування задач з цієї теми. Урізноманітнити цю роботу можна пропозицією використати для складання задач побутові тіла (кулі для новорічної ялинки різного діаметру, весільні каблучки тата і мами, спортивний обруч, колесо дитячого велосипеда та ін.).

Можна запропонувати учням розв'язати домашню експериментальну задачу: Знайти кутове прискорення кульки для новорічної ялинки. Обладнання: штангенциркуль, годинник, нитка, кулька для новорічної ялинки.

Використання такого підходу до вивчення матеріалу дозволяє розвивати творчі здібності учнів; встановлювати зв'язки і залежності між процесами і явищами, законами, поняттями, величинами; узагальнювати, класифікувати і систематизувати об'єкти та поняття; виділяти характерні риси фізичних процесів та явищ, впроваджувати особистісно-діяльнісний підхід до навчання фізики.

Описаний підхід до вивчення обертального руху твердого тіла впроваджувався у 9 класі спеціалізованої школи №30 м. Херсона. І це дозволило:

- переконатися у доступності запропонованого матеріалу для учнів даного шкільного віку;
- забезпечити рівневий підхід до вивчення матеріалу учням з різним ступенем підготовки;
- залучити школярів до активної пошукової діяльності як на етапі вивчення матеріалу так і на етапі його застосування;
- переконати учнів у тому, що різні за характером рухи описуються однаковими законами;
- навчити школярів самостійно складати задачі і розв'язувати їх.

Набутий нами досвід може бути використаний під час розробки програм і підручників з фізики для профільної школи.

Література:

1. Бугаев А.И. Методика преподавания физики в средней школе. Теретические основы. Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. – М.: Просвещение, 1981. – 288с.
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. - М.:Наука,1969. - 464 с.
3. Гончаренко С.У. Фізика 9. – К.: Освіта, 1997. – 431с.
4. Кабардин О.Ф. и др. Факультативный курс физики. 8 кл. Пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1973. – 206с.
5. Кашина С.И., Сезонов Ю.И. Сборник задач по физике. - М.: Высш. школа, 1984. - 207 с.
6. Коршак С.В. та ін Фізика, 9кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк./ С.В.Коршак, О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко. – Київ; Ірпінь: ВТФ «Перун», 2000. – 232с.
7. Проблемы освіти: Наук.-метод. зб./Кол. авт. – К.: ІЗМН, 1988. – Вип.13 – 272с.
8. Сборник задач по курсу общей физики./ Под. редЦедрика М.С. – М.: Просвещение, 1989. – 271с.
9. Програма для середніх загальноосвітніх навчальних закладів: Фізика:7-11кл. – К.: Шкільний світ, 2001.
10. Римкевич А.П. Збірник задач з фізики для 8-10 класів середньої школи. – К.: Рад. школа,1989. – 176с.
11. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. _ М.: Высш. шк., 1988. – 527с.

12. Эвенчик Э.Е. и др. Методика преподавания физики в средней школе: Механика. – М.: Просвещение, 1986. – 240с.