

РАЗДЕЛ III. ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ

УДК 37.016:53

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-2-91-100

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЁРДОГО ТЕЛА В ЭЛЕКТИВНОМ КУРСЕ ПРОФИЛЬНОЙ ШКОЛЫ

Харыбина И.Н.¹, Холина С.А.²

¹*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, г. Москва, Вадковский переулок, д. 3а, Российская Федерация*

²*Московский государственный областной университет
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается проблема изучения вращательного движения твёрдого тела в курсе физики в профильной школе. Предлагается дополнить изучение данной темы элективным курсом, в котором особое внимание уделено решению задач по кинематике, динамике, законам сохранения для описания плоскопараллельного движения твёрдого тела. Приводятся примеры решения заданий, отражающих этапы формирования метода нахождения мгновенного центра скоростей. Представлены способы деятельности обучающихся на уровне учебных действий.

Ключевые слова: элективный курс, вращательное движение твёрдого тела, плоскопараллельное движение, мгновенный центр скоростей, кинематический анализ.

STUDYING ROTATIONAL MOTION OF A SOLID BODY IN PROFILE SCHOOL ELECTIVE COURSES

I. Kharybina¹, S. Kholina²

¹*Moscow State Technological University 'STANKIN', Vadkovsky pereulok 3a, 127055 Moscow, Russia;*

²*Moscow State Regional University, ul. Radio 10a, 105005 Moscow, Russia*

Abstract. The problem of studying the rotational motion of a solid body in the physics course at a profile school is considered. It is proposed to supplement the study of the topic by elective courses in which special attention is paid to the solution of problems on kinematics, dynamics, and conservation laws for the description of plane motion of a solid body. Examples are given of solutions of problems, reflecting the stages of the formation of the method for finding an instantaneous center of velocities. We present ways of the students' activity at the educational level of action.

Keywords: elective course, rotational motion of a solid body, plane-parallel movement, instantaneous velocity center, kinematic analysis.

Дифференциация школьного образования призвана удовлетворить потребность обучающихся в преемственности среднего и высшего образования. Обучение в высшей школе технического направления предполагает изучение таких дисциплин как общая физика, теоретическая механика, теория машин и механизмов, и т.д. В этих курсах движение механических узлов рассматривают как плоскопараллельное движение, которое представляют в виде его частных случаев: поступательного и вращательного. Основой изучения этих дисциплин должны служить знания, полученные в курсе физики профильной школы. Если изучению поступательного движения отводится достаточное количество времени, то изучение вращательного движения твёрдого тела осуществляется только на углублённом уровне.

Для успешного обучения в высшей школе необходимо ознакомить обучающихся с вращательным движением твёрдого тела с закреплённой осью, равноускоренным движением тела по окружности, с основным уравнением динамики вращательного движения твёрдого тела, законами сохранения, выполняющимися при вращательном и плоскопараллельном движении твёрдого тела. Эти вопросы включены в программу курса физики профильной

школы [6] и могут быть дополнены учебным материалом элективного курса, основное содержание которого отражено в учебниках физики углублённого уровня В.А. Касьянова, Г.Я. Мякишева, Л.С. Хижняковой [3; 5; 7].

Концепция профильного обучения определяет цель элективного курса – подготовка обучающихся к осознанному выбору будущей профессиональной деятельности [4]. Реализация такого курса осуществляется за счет школьного компонента и позволяет выполнять следующие функции: дополнить содержание профильного курса физики, выстроить индивидуальную образовательную траекторию обучающегося, обеспечить выбор будущей профессии, формировать познавательный интерес к физике.

Концепция профильного образования определяет критерии оценки программы элективного курса, одним из таких служит степень новизны для обучающихся. Его содержание включает в себя понятия: плоскопараллельное движение, мгновенный центр скоростей, кинетический момент. В курсе физики понятие «мгновенный центр скоростей» определяется как «мгновенная ось». Представляется целесообразным в элективном курсе определить точку, относительно которой твердое тело совершает вращательное движение в данный момент времени, как мгновенный центр скоростей, что отражает содержание курса теоретической механики.

Классификация задач в курсе механики по содержанию выделяет основные темы: кинематика, динамика, законы сохранения. Большая часть задач начинается с проведения кинематического анализа. Кинематический анализ необходим для нахождения соотношений линейных, угловых скоростей, ускорений и перемещений, что важно при решении любых задач по механике. Освоение такого методического приема позволит обучающимся применять единый подход при решении механических задач на движение не только в курсе физики профильной школы, но и в курсе теоретической механики, теории машин и механизмов высшей школы.

Особенно важен кинематический анализ в решении задач при изучении вращательного движения твёрдого тела. Обучающийся, который выбирает техническую направленность вуза, на занятиях элективного курса знакомится с единым подходом к решению задач по механике. Данный элективный курс может служить пропедевтическим для изучения теоретической механики, деталей машин и механизмов в вузе.

Содержание элективного курса в профильной школе включает следующие понятия: элементы плоскопараллельного движения (нахождение мгновенного центра скоростей и вычисление скорости любой точки твердого тела); распределенная масса твердого тела (осевой момент инерции); кинетическая энергия вращающегося твердого тела; кинетический момент вращающегося тела; закон сохранения кинетического момента.

Особый интерес представляет изучение элементов плоскопараллельного движения твердого тела на примере качения колеса по ровной поверхности, где центр масс колеса движется поступательно, а само колесо в каждый момент времени поворачивается относительно точки контакта с поверхностью. Скорость этой точки равна нулю, и она носит название мгновенный центр скоростей.

Начальным этапом при решении задач на динамику, законы сохранения является кинематический анализ, в ходе которого обучающиеся должны определить характер движения твердого тела и найти соотношения скоростей различных точек.

Выделим основные этапы формирования метода определения скоростей точек через мгновенный центр скоростей при решении задач у обучающихся. Первый этап – кинематический анализ плоского движения твердого тела. Второй этап – кинематический анализ системы плоских тел. Третий этап – выражение связи между кинематическими величинами, характеризующими движение системы плоских твердых тел (ускорения, перемещения). Рассмотрим каждый этап более подробно.

На первом этапе обучающиеся определяют условия движения твердого тела, выбирают систему отсчета. Обучающиеся должны понимать, что при отсутствии проскальзывания мгновенным центром скоростей является точка контакта твердого тела с поверхностью.

Следующий шаг в решении – определение угловой скорости вращения твердого тела относительно мгновенного центра скоростей при известной линейной скорости центра масс. Рассматривая движение твердого тела как его вращение вокруг мгновенного центра скоростей, можно вычислить линейную скорость исследуемой точки, определив при этом расстояние от точки до мгновенного центра скоростей. Интерпретация полученных результатов

предполагает нанесение вектора линейной скорости на рисунок. Рассмотрим этот этап на примере 1 [2].

Пример 1:

Зная скорость центра масс колеса V_C , движущегося равномерно по горизонтальной поверхности без проскальзывания, определить скорости точек A, B, D в данный момент времени, угловую скорость колеса ω , если его радиус равен R (рис. 1).

Качение колеса рассмотрим как непрерывную последовательность поворотов относительно точки его соприкосновения с поверхностью. То есть точка O является мгновенной осью и скорость этой точки равна нулю, поэтому она называется мгновенный центр скоростей (рис. 2).

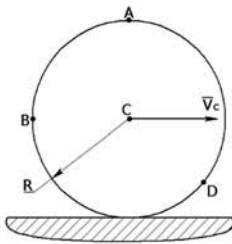


Рис. 1

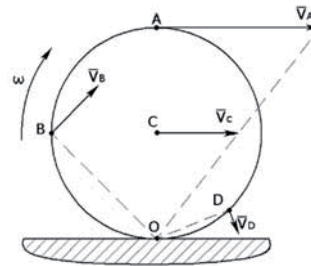


Рис. 2

Для нахождения скоростей точек A, B, D введем угловую скорость вращения колеса $\omega = \frac{V_C}{R}$, тогда скорость любой точки на колесе определяется через угловую скорость вращения колеса и расстояние от мгновенного центра скоростей до этой точки. Скорость точки A равна $V_A = \omega \cdot OA = \frac{V_C}{R} \cdot 2R = 2V_C$, аналогично, для точек B и D : $V_B = \omega \cdot OB, V_D = \omega \cdot OD$.

Линейные скорости V_A, V_B, V_D направлены перпендикулярно отрезку, соединяющему мгновенный центр скоростей (точка O) и соответствующую точку (A, B, D). Направление вектора линейной скорости должно быть согласовано с направлением угловой скорости.

Решение такой задачи на нахождение угловой и линейных скоростей при плоскопараллельном движении позволяет обучающимся получить представление об одном из наиболее удобных способов описания движения твердого тела.

На втором этапе формирования метода происходит его обобщение для системы плоских тел, тем самым совершенствуются знания обучающихся. На данном этапе важно выяснить начальное и конечное положение системы твердых тел, определить вид движения каждого тела и их мгновенные центры скоростей и записать формулы, связывающие угловые и линейные скорости точек тела относительно мгновенных центров скоростей. Рассмотрим движение твердого тела на примере 2 [1].

Пример 2:

Определить скорость точки A в устройстве, изображенном на рис. 3, если скорость точки B равна V_B .

Для решения задачи воспользуемся определением мгновенного центра скоростей. Так как нить нерастяжима, то скорости точек A и D , а также B и C , равны по модулю (рис. 4).

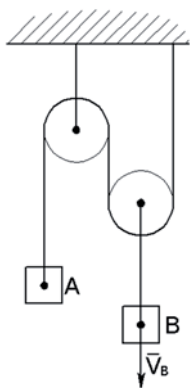


Рис. 3

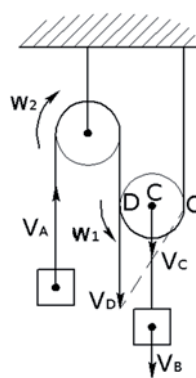


Рис. 4

Подвижный блок совершает плоскопараллельное движение: он поворачивается относительно точки O и его центр (точка C) опускается вниз.

При вращении этого блока для всех его точек угловая скорость будет одинакова и равна $\omega_1 = V_C/CO = V_B/R$. Следовательно, скорость $V_A = V_D = \omega_1 \cdot DO = (V_B/R) \cdot 2R = 2V_B$.

Как видим, применение понятия мгновенного центра скоростей позволяет на основе физических закономерностей найти отношение скоростей.

Третий, более сложный, этап в формировании метода – определение связи кинематических величин, характеризующих движение системы твердых тел, необходимой для составления второго закона Ньютона в векторной форме и в проекциях на оси координат. Обучающиеся должны понимать, что

соотношение скоростей, тангенциальных ускорений и перемещений точек при плоскопараллельном движении одинаково. Приведем пример решения задачи на динамику [2].

Пример 3:

Найти натяжение нити T в устройстве, изображенном на рис. 5. Массы тел соответственно равны $m_1=0,1$ кг, $m_2=0,3$ кг. Весом блоков можно пренебречь. Нить считать невесомой и нерастяжимой.

Как видно из рис. 6, ускорение центра масс первого тела отличается от ускорения центра масс второго тела.

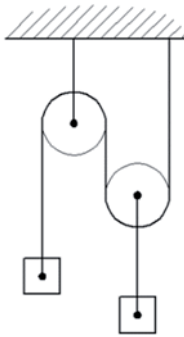


Рис. 5

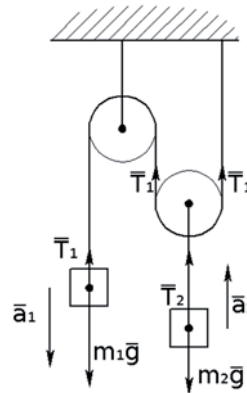


Рис. 6

Поэтому проведем кинематический анализ: определим характер движения тел; выразим отношение скоростей центра масс первого и второго тел. Первое тело движется поступательно, второе – плоскопараллельно.

В предыдущей задаче это соотношение было найдено, и, используя его результат для выражения скоростей, отношение ускорений имеет вид: $a_1 = 2a_2$.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси для первого и второго тел:

$$m_1 a_1 = m_1 g - T_1,$$

$$m_2 a_2 = 2T_1 - m_2 g.$$

Решая систему уравнений, найдем натяжение нити $T = \frac{3m_1 m_2 g}{4m_1 + m_2} \approx 1,3Н$.

Таким образом, в решении динамических задач на вращательное движение твердого тела кинематический анализ необходим не только для определения характера движения системы твердых тел, но и для установления соотношений между кинематическими величинами центров масс тел системы.

Пример 4:

Найти зависимость скорости центра масс блока массой m и радиуса R , опускающегося на нити, от проходимого центром расстояния h (рис. 7) [2].

Проведем кинематический анализ: твердое тело движется плоскопараллельно. Следовательно, характеристикой его поступательного движения является скорость центра масс (точки C) V_C , а характеристикой вращательного движения – угловая скорость тела (рис. 8).

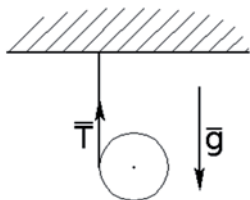


Рис. 7

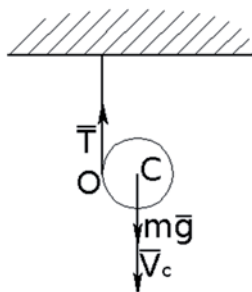


Рис. 8

Вычислим угловую скорость вращения диска. Точка C в данный момент времени вращается относительно точки O – мгновенного центра скоростей с линейной скоростью V_C , тогда угловая скорость диска равна $\omega = V_C/R$.

Для решения воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии: $E_K - E_{K0} = A$, где E_{K0} – кинетическая энергия в начальный момент времени равная нулю.

Поскольку блок совершает плоскопараллельное движение, то его кинетическая энергия рассчитывается как сумма кинетических энергий поступательного и вращательного движений: $E_K = \frac{mV_C^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$, где $I = \frac{mR^2}{2}$ – момент инерции диска. Таким образом, кинетическая энергия $E_K = 3mV_C^2/4$.

Работу совершает сила тяжести $A = mgh$. Натяжение нити работу не совершает, поскольку сила приложена в мгновенном центре скоростей.

Применяя теорему, имеем: $3mV_C^2/4 = mgh$ и зависимость значения скорости центра масс от проходимого им расстояния имеет вид: $V_C = \sqrt{4gh/3}$.

Используемый метод определения скоростей точек твердого тела можно освоить посредством решения задач не только кинематики, но и применить его в динамике, и изучая теорему об изменении кинетической энергии для системы твердых тел. При этом у обучающихся вырабатывается общая схема решения

задач на вращательное движение. Освоение данного метода в элективном курсе профильной школы позволит осуществлять эффективную подготовку обучающихся к решению олимпиадных заданий по физике, а также итоговой государственной аттестации в форме Единого государственного экзамена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бендриков Г.А., Буховцев Б.В., Керженцев В.В., Мякишев Г.Я. Задачи по физике для поступающих в вузы: Учебное пособие: М.: Физматлит, 2013. 344 с.
2. Задачи по физике: учебное пособие / Под ред. Савченко О.А. М.: Наука, 2011. 416 с.
3. Касьянов В.А. Физика. 10 класс. Учебник. М.: Дрофа, 2013. 298 с.
4. Концепция профильного обучения на старшей ступени общего образования (Приложение к приказу Министерства образования России от 18.07.02. №2783) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eidos.ru/> (дата обращения: 25.04.2016).
5. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.В., Чаругин В.М. Физика. 10 класс. Учебник. М.: Просвещение, 2010. 399 с.
6. Хижнякова Л.С. Синявина А.А., Кудрявцев В.В., Холина С.А. Физика: программы: 7-9 классы, 10-11 классы. М.: Вентана-Граф, 2014. 288 с.
7. Хижнякова Л.С., Синявина А.А., Холина С.А., Кудрявцев В.В. Физика. 10 класс. Учебник. Базовый и углубленный уровни. ФГОС. М.: Вентана-Граф, 2014. 400 с.

REFERENCES

1. Bendrikov G.A., Bukhovtsev B.V., Kerzhentsev V.V., Myakishev G.YA. Zadachi po fizike dlya postupayushchikh v vuzy: Uchebnoe posobie [Problems in physics for students of higher education: textbook]. M., Fizmatlit, 2013. 344 p.
2. Zadachi po fizike: uchebnoe posobie [Problems in physics: textbook]. M., Nauka, 2011. 416 p.
3. Kas'yanov V.A. Fizika. 10 klass. Uchebnik [Physics. Grade 10. Textbook]. M., Drofa, 2013. 298 p.
4. Kontseptsiya profil'nogo obucheniya na starshei stupeni obshchego obrazovaniya (Prilozhenie k prikazu Ministerstva obrazovaniya Rossii ot 18.07.02. №2783) [Elektronnyi resurs]. [The concept of profile training at the senior stage of General education (Annex to the order of Ministry of education of Russia dated 18.07.02. No. 2783) [E-source].] - URL: <http://www.eidos.ru/> (request date 25.04.2016)
5. Myakishev G.YA., Bukhovtsev B.B., Charugin V.M. Fizika. 10 klass. Uchebnik [Physics. Grade 10. Textbook]. M., Prosveshchenie, 2010. 399 p.
6. Khizhnyakova L.S., Sinyavina A.A., Kudryavtsev V.V., Kholina S.A. Fizika: programmy: 7-

9 klassy, 10-11 klassy [Physics: programs: 7-9 grades and 10-11 grades]. M., Ventana-Graf, 2014. 288 p.

7. Khizhnyakova L.S., Sinyavina A.A., Kholina S.A., Kudryavtsev V.V. Fizika. 10 klass. Uchebnik. Bazovyi i uglublennyyi urovni. FGOS [Physics. Grade 10. Textbook. Basic and advanced levels.]. M., Ventana-Graf, 2014. 400 p.

ИНФОМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харыбина Ирина Николаевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;
e-mail: irina_stan@mail.ru;

Холина Светлана Александровна – кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой методики преподавания физики, Московский государственный областной университет;
e-mail: svetaholina@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kharybina Irina Nikolaevna – candidate of pedagogical sciences, assistant professor of the Department of Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Moscow State Technological University 'STANKIN';
e-mail: irina_stan@mail.ru;

Kholina Svetlana Aleksandrovna – candidate of pedagogical sciences, head of the Department of Methodology of Teaching Physics, Moscow State Regional University;
e-mail: svetaholina@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Харыбина И.Н., Холина С.А. Изучение вращательного движения твёрдого тела в элективном курсе профильной школы // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2016. № 2. С. 91–100.
DOI: 10.18384/2310-7251-2016-2-91-100.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

I. Kharybina, S. Kholina Studying rotational motion of a solid body in profile school elective courses // Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Physics and Mathematics. 2016. no. 2. pp. 91–100.
DOI: 10.18384/2310-7251-2016-2-91-100.