

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 5 |
| 1. КИНЕМАТИКА | 7 |
| 1.1. Модели в механике. Система отсчета. Кинематическое описание движения | 7 |
| 1.2. Основные виды движения твердых тел | 10 |
| 1.3. Вектор перемещения. Скорость | 10 |
| 1.4. Ускорение и его составляющие | 14 |
| 1.5. Прямая и обратная задачи кинематики | 19 |
| 1.6. Кинематика вращательного движения | 21 |
| Контрольные вопросы | 28 |
| Задания для самоконтроля | 28 |
| 2. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ | 37 |
| 2.1. Основные понятия динамики | 37 |
| 2.2. Законы Ньютона | 40 |
| 2.3. Закон сохранения импульса. Центр масс | 43 |
| 2.4. Силы в механике | 44 |
| 2.5. Преобразования Галилея | 48 |
| 2.6. Движение тела переменной массы (реактивное движение) | 50 |
| 2.7. Гравитационное поле | 51 |
| Контрольные вопросы | 52 |
| Задания для самоконтроля | 53 |
| 3. ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ | 67 |
| 3.1. Момент инерции | 67 |
| 3.2. Изменение момента инерции тела при переносе оси | 69 |
| 3.3. Момент силы | 70 |
| 3.4. Момент импульса | 72 |
| 3.5. Закон динамики вращательного движения | 75 |
| 3.6. Собственный момент импульса | 79 |
| Контрольные вопросы | 84 |
| Задания для самоконтроля | 85 |

| | |
|--|-----|
| 4. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ В МЕХАНИКЕ | 94 |
| 4.1. Понятие энергии в современной физике | 94 |
| 4.2. Работа силы. Мощность | 95 |
| 4.3. Работа и мощность при вращении | 97 |
| 4.4. Кинетическая энергия | 98 |
| 4.5. Потенциальная энергия | 101 |
| 4.6. Закон сохранения механической энергии | 104 |
| 4.7. Законы сохранения при упругом и неупругом ударах | 107 |
| Контрольные вопросы | 108 |
| Задания для самоконтроля | 109 |
| 5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ | 121 |
| Ответы к заданиям для самоконтроля | 136 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 138 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 151 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Хорошее употребление времени
делает время еще более драгоценным.
Жан-Жак Руссо*

В последнее время, в результате введения новых дисциплин в учебные программы технических специальностей, количество аудиторных часов на изучение курса физики было существенно сокращено, однако программа самого курса все равно остается достаточно объемной. Сложившаяся ситуация требует новых подходов к преподаванию физики и новых учебников, в частности, для иностранных студентов. Студенты из других стран, как правило, не владеют украинским языком в мере, достаточной для того, чтобы учиться по уже существующим пособиям. Имеющиеся учебники по физике, в большинстве своем, очень подробны и объемны, что может создавать некоторые трудности для самостоятельной работы иностранных студентов.

Поэтому и возникла необходимость, вместе с новым сокращенным курсом механики на украинском языке, иметь и схожее пособие для иностранных студентов, которое соответствовало бы базовому объему преподавания, а более подробные учебники могли бы, в свою очередь, использоваться уже для углубленного изучения физики в процессе самостоятельной работы.

Данное учебное пособие «Механика» охватывает в сокращенном изложении практически все ключевые аспекты и понятия классической механики, как части курса физики, изучаемого студентами различных технических специальностей Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова. В пособии подробно рассмотрены кинематика и динамика материальной точки и твердого тела, а также законы сохранения. При этом, используемый математический аппарат был максимально сокращен, а основное внимание уделено физическому смыслу соответствующих понятий, явлений и законов. Все это позволяет при ограниченном объеме времени, отведенном на изучение механики, в достаточной мере овладеть знаниями и навыками, необходимыми для дальнейшего изучения физики и смежных дисциплин.

Механическое движение – изменение взаимного расположения тел или их частей с течением времени.

Механика – наука о механическом движении, взаимодействии и равновесии тел.

Механику подразделяют на классическую, релятивистскую и квантовую.

Классическая механика основывается на законах Ньютона, в ней изучается движение *макроскопических* тел ($l \gg 1 \text{ \AA}$) со скоростями намного меньшими скорости света в вакууме ($v \ll 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$).

Механика, как правило, делится на три раздела: кинематику, динамику, статику.

Кинематика изучает и описывает математически движение тел, не рассматривая причины, которые это движение обуславливают.

Динамика изучает законы движения тел и причины, которые вызывают или изменяют это движение.

Статика изучает законы равновесия системы тел. Если известны законы движения тел, то из них можно установить и законы равновесия. Поэтому законы статики отдельно от законов динамики в данном пособии не рассматриваются.

Основная задача механики состоит в определении положения тела в любой момент времени при известных воздействиях на тело и заданных начальных условиях.

1. КИНЕМАТИКА

1.1. Модели в механике. Система отсчета. Кинематическое описание движения

Кинематика как раздел механики изучает математические свойства механического движения тел, устанавливает связь между пространственными характеристиками движения и временем без учета взаимодействия между телами и инертности тел.

Механика для описания движения тел в зависимости от условий конкретных задач использует разные *физические модели*. Простейшей моделью является *материальная точка* – тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь. Это абстрактное понятие, введение которого упрощает решение многих практических задач. Такая абстрактная модель реального тела позволяет отвлечься от второстепенных деталей механического движения. Конкретные тела в одних задачах можно считать материальными точками, а в других задачах такое допущение неприемлемо. Например, при изучении движения Луны по орбите вокруг Земли, можно считать эти тела материальными точками. В том случае, если рассматривается вращение этих небесных тел вокруг собственных осей, то нельзя принимать их за материальные точки.

Произвольную систему тел или макроскопическое тело можно мысленно разбить на малые, взаимодействующие между собой, части, каждая из которых рассматривается как материальная точка. Тогда изучение движения данной системы тел сводится к изучению *системы материальных точек*. В механике сначала изучают движение одной материальной точки, а затем переходят к изучению системы материальных точек.

Движение тел происходит в пространстве и во времени. Для описания движения, а также каких-либо других физических явлений, необходима *система отсчета*, которая объединяет пространственную систему координат и способ отсчета времени (часы). В классической механике для описания движения используют время, единое для всей системы отсчета. В этой системе часы, расположенные в разных точках пространства,

должны показывать одинаковое время. Такие часы называют синхронизированными.

Для характеристики пространства, в котором происходит движение материальной точки, с системой отсчета связывают пространственную систему координат. Пространственная система координат состоит из трех координатных осей, которые привязаны к одной точке – началу отсчета. Движение материальной точки будет описано полностью, если для конкретной системы отсчета известны ее координаты в любой момент времени. Наиболее часто используется правая прямоугольная декартова система координат. Положение материальной точки M в пространстве в определенный момент времени в данной системе координат определяется радиусом-вектором \vec{r} , проведенным из начала координат O в данную точку (рис. 1.1). Проекции радиус-вектора на координатные оси Ox , Oy , Oz равны координатам x , y , z точки M

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k},$$

где \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} – единичные векторы (орты), которые задают масштаб длины и направление координатных осей.

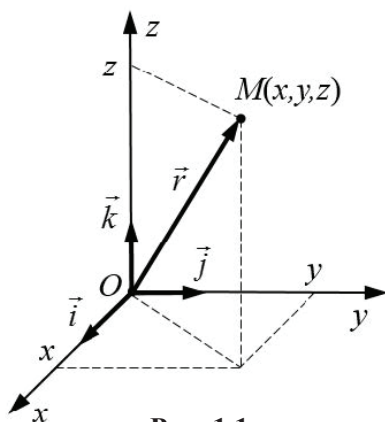


Рис. 1.1

Таким образом, положение материальной точки задается тремя числами (координатами) $M = M(x, y, z)$.

В процессе движения материальной точки ее координаты изменяются со временем. В общем случае ее движение определяется скалярными уравнениями

$$\begin{cases} x = x(t), \\ y = y(t), \\ z = z(t), \end{cases} \quad (1.1)$$

эквивалентными одному векторному уравнению

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}. \quad (1.2)$$

Уравнения (1.1), (1.2) называются *кинематическими уравнениями движения материальной точки*.

Число независимых координат, полностью определяющих положение точки в пространстве, называется *числом степеней свободы*. Если материальная точка свободно движется в пространстве, то, она обладает тремя степенями свободы (координаты x , y и z); если она движется на некоторой плоскости, то двумя степенями свободы, если вдоль некоторой линии, то одной степенью свободы.

Исключая параметр t в уравнениях (1.1), (1.2), получим уравнение траектории движения материальной точки. *Траектория движения* материальной точки – это линия, описываемая движущейся точкой в пространстве. В зависимости от формы траектории движение может быть *прямолинейным* или *криволинейным*.

Форма траектории зависит от выбора системы отсчета. Криволинейную траекторию характеризует *кривизна*, которая может изменяться от одной точки траектории к другой. Центром кривизны траектории в данной точке называется центр касательной к ней окружности, радиус которой равен обратному значению кривизны.

Расстояние между двумя точками, пройденное вдоль траектории движения, называется *путь* s – это скалярная функция времени $s = s(t)$. Пройденный материальной точкой путь зависит от времени и может только увеличиваться в процессе движения независимо от его направления.

1.2. Основные виды движения твердых тел

Под воздействием друг на друга тела могут деформироваться, т. е. изменять свою форму и размеры. Для упрощения, в механике вводится еще одна физическая модель – абсолютно твердое тело. *Абсолютно твердым телом* называется тело, которое ни при каких условиях не деформируется и при любых условиях расстояние между любыми двумя точками (или, точнее, между двумя частицами) этого тела остается постоянным.

Какое-либо сложное движение абсолютно твердого тела всегда можно представить, как два простых вида движения – поступательного и вращательного. *Поступательным движением* называют такое движение, при котором любая прямая, соединяющая две произвольные точки этого тела, остается параллельной своему первоначальному положению, т. е. ее ориентация в пространстве в ходе движения не изменяется. При поступательном движении все точки тела описывают одинаковые траектории. Следовательно, зная характеристики движения одной точки, можно определить и характеристики движения всех других его точек. *Вращательным движением* абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси называется такое движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой *осью вращения*.

Движение твердого тела называют *плоским*, если все участки траекторий движения его точек остаются в параллельных или совпадающих плоскостях.

Движения, которые повторяются или приблизительно повторяются через одинаковые промежутки времени, называются *колебательными* или *колебаниями*.

1.3. Вектор перемещения. Скорость

Рассмотрим движение материальной точки вдоль произвольной траектории (рис. 1.2). Пусть в начальный момент времени t материальная точка находилась в положении A , которое определяется радиусом-вектором \vec{r}_1 , и в течении промежутка времени Δt прошла путь Δs , переместившись в положение B ,