

МЕХАНИКА

Лектор: Жақыпов Әлібек Серікұлы

Тел: +7 705 660 69 63

e-mail: Alibek.Zhakupov@kaznu.edu.kz

3 лекция

«Динамика поступательного движения. Законы И. Ньютона»

Цель лекции: сформировать у студентов целостное представление о законах динамики поступательного и вращательного движения, о силе, моменте силы и моменте импульса, а также об их роли в описании и объяснении механического движения тел.

Задачи лекции:

1. Рассмотреть формулировку первого закона Ньютона, ввести понятия инерции и инерциальной системы отсчета.
2. Ввести понятие силы как меры механического взаимодействия и показать правило сложения сил и переноса силы в абсолютно твердом теле.
3. Изложить второй закон Ньютона в векторной форме и обсудить связь между силой, массой и ускорением.
4. Объяснить содержание третьего закона Ньютона и его значение для описания взаимодействий тел.
5. Ввести понятие момента силы, плеча силы и момента силы относительно оси, показать связь с вращательным движением.
6. Ввести понятие момента импульса материальной точки, установить связь между изменением момента импульса и суммарным моментом сил и сформулировать закон сохранения момента импульса для замкнутых систем.

Основные понятия и термины:

Инерция – инерция это свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока на него не действуют другие тела.

Инерциальная система отсчета – системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона и свободное тело сохраняет свое состояние без внешнего воздействия, называют инерциальными.

Сила — векторная величина, характеризующая меру механического воздействия на тело со стороны других тел или полей. Задается модулем, направлением и точкой приложения. При одновременном действии нескольких сил, приложенных в одной точке, их можно заменить геометрической суммой. В абсолютно твердом теле точку приложения силы можно переносить вдоль линии ее действия без изменения механического эффекта.

Момент силы – Векторная величина, характеризующая способность силы вызывать вращательное движение относительно выбранной точки или оси.

Момент импульса – момент импульса материальной точки относительно точки это вектор, равный векторному произведению радиуса вектора на импульс точки.

План лекции

1 Динамика поступательного движения, историческая роль книги Ньютона.

2 Первый закон Ньютона. Инерция тела и инерциальные системы отсчета.

3 Понятие силы. Векторный характер силы, сумма сил, перенос силы в абсолютно твердом теле.

4 Второй закон Ньютона. Связь силы, массы и ускорения, интерпретация по результатам опытов.

5 Третий закон Ньютона. Пара сил действия и противодействия при взаимодействии тел.

6 Динамика вращательного движения. Момент силы, плечо силы, момент силы относительно оси.

7 Момент импульса материальной точки. Связь изменения момента импульса с моментом сил, закон сохранения момента импульса в замкнутой системе.

«Динамика поступательного движения. Законы И. Ньютона»

Ньютон в 1687 г. опубликовал книгу «Математические основы натуральной философии».

Сущность первого закона предложил еще Г. Галилей: Существуют такие системы отсчета, в которых всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействия со стороны других тел не заставят его изменить это состояние.

Свойство тела сохранять свое состояние неизменным называют **инерцией**, а системы отсчета, в которых выполняется этот закон - **инерциальными**. Такие системы движутся относительно других систем **без** ускорения.

Причина изменения состояния тела, т.е. появление ускорения, связана с понятием **силы**.

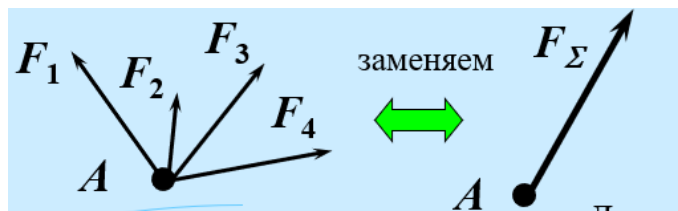
Сила – векторная величина, характеризующая меру механического воздействия на тело со стороны других тел или полей.

Сила задается с помощью модуля, направления и точки приложения.

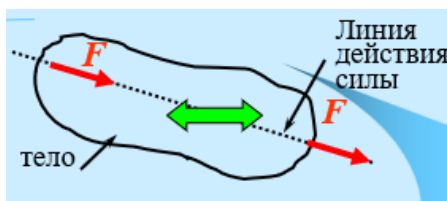
Опыты показали: если на тело действуют n – сил, приложенных в одной точке, то их можно заменить геометрической суммой:

Если силы приложены в разных точках, то их заменять нельзя

$$\vec{F}_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (3.1)$$



В абсолютно твердом теле точку приложения силы можно переносить вдоль линии действия силы:



Второй закон И. Ньютона

Опыты показывают, что если к разным по массе телам приложить одинаковую силу, то эти тела получат разное ускорение.

$$\frac{\vec{a}_1}{\vec{a}_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (3.2)$$

Опыты показывают, что если к разным по массе телам приложить одинаковую силу, то эти тела получают разное ускорение.

С другой стороны ускорение тела зависит от приложенной к нему силы $a=kF$ (где k коэффициент пропорциональности). Следовательно:

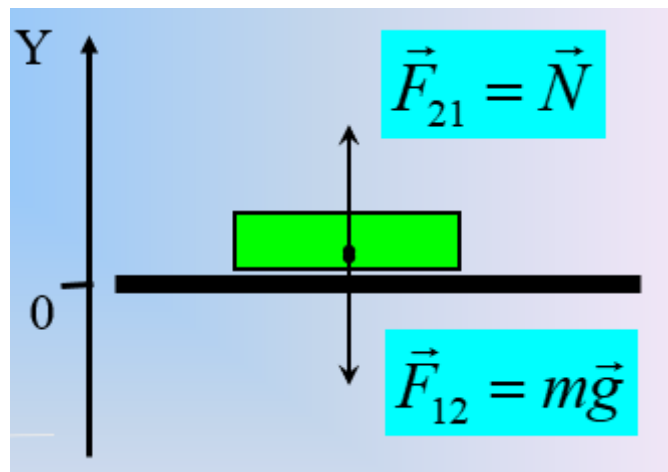
$$\vec{a}_1 = \frac{m_2 \vec{a}_2}{m_1} = k \vec{F}_2 \rightarrow m_2 \vec{a}_2 = k \vec{F}_2 \quad (3.3) \text{ – второй закон Ньютона}$$

Третий закон И.Ньютона

Третий закон Ньютона устанавливает соотношение между взаимодействующими телами:

Силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по величине и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны.

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ Проекция силы F_{12} на ось Y отрицательна, следовательно, переходя от векторов:



$$-F_{12} = -F_{21} \rightarrow F_{12} = F_{21} \rightarrow \vec{N} = m\vec{g} \quad (3.4)$$

Динамика вращательного движения

Момент силы

Если сила F приложена к материальной точке A , то моментом силы M относительно произвольной точки O называется векторное произведение радиуса-вектора r , проведенного из точки O к точке A , и вектора силы:

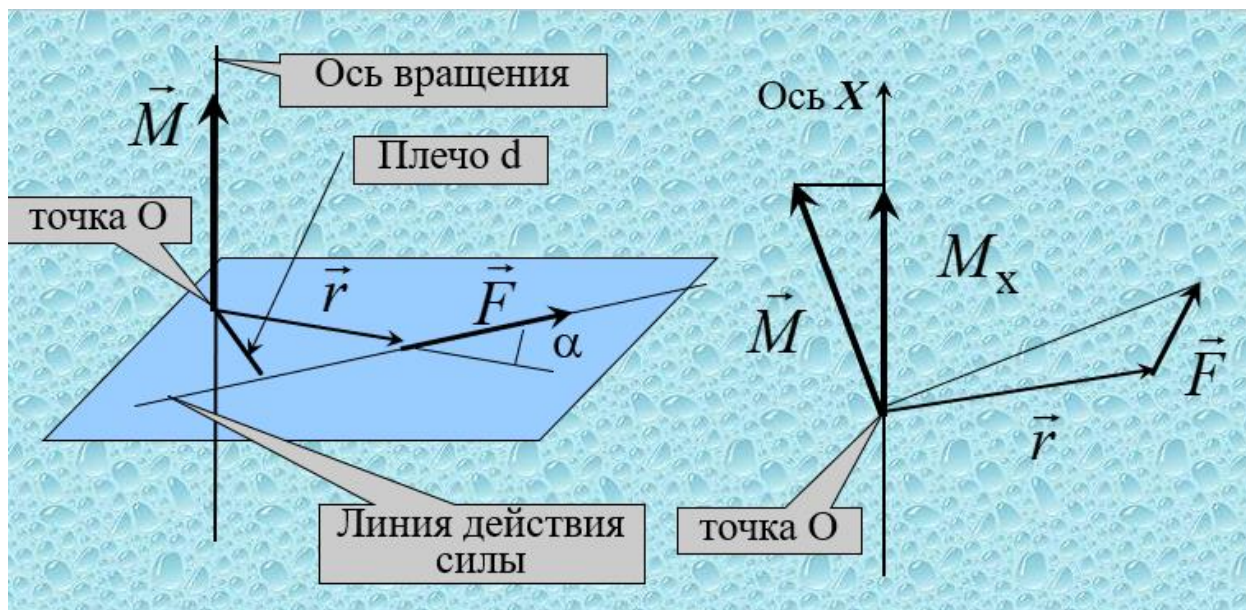
$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}] \quad (3.5)$$

Либо в скалярной форме:

$$|\vec{M}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin(\vec{r}, \vec{F}) = F \cdot d \quad (3.6)$$

где d – плечо силы F .

Направление вектора $\vec{M}$ определяется правилом правого винта (буравчика). Буравчик, параллельный оси вращения, вращаем от $\vec{r}$ к $\vec{F}$.



Плечо силы – это длина перпендикуляра, опущенного из т. О на линию действия силы.

Моментом силы M_x относительно оси X называется проекция на эту ось вектора момента силы относительно любой точки, выбранной на этой оси. Значение M_x не зависит от выбора положения т. О на оси X.

Момент импульса

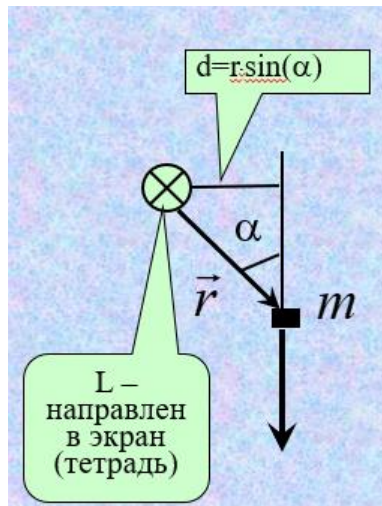
Моментом импульса материальной точки относительно точки О называется вектор, равный векторному произведению радиуса вектора, проведенного из точки О, на импульс материальной точки.

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{p}] = [\vec{r} \times m\vec{v}] \quad (3.7)$$

Либо в скалярной форме

$$|\vec{L}| = |\vec{r}||\vec{p}| \cdot \sin(\vec{r}, \vec{p}) = p \cdot d \quad (3.8)$$

Проекция вектора $\vec{L}$ на ось X, проходящую через точку О, называется моментом импульса материальной точки относительно этой оси



$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (3.9)$$

Зададимся вопросом. От чего зависит изменение момента импульса?
Для ответа на этот вопрос возьмем производную:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} [\vec{r} \times m\vec{v}] = \left[\vec{r} \times m \frac{d\vec{v}}{dt} \right] + \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \times m\vec{v} \right] \quad (3.10)$$

По второму закону Ньютона: $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$, а $\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$

Тогда:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{r} \times \vec{F}] + [\vec{v} \times m\vec{v}] = [\vec{r} \times \vec{F}] + 0 = \vec{M} \quad (3.11)$$

Так как:

$$[\vec{v} \times m\vec{v}] = |\vec{v}| \cdot |m\vec{v}| \cdot \sin(0) = 0 \quad (3.12)$$

Итого:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (3.13)$$

Скорость изменения момента импульса со временем равно суммарному моменту сил действующему на тело.

В замкнутой (изолированной) системе момент внешних сил равен нулю, внутренние по третьему закону Ньютона скомпенсированы. Следовательно:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} = \vec{M}_{\text{внеш.сил}} + \vec{M}_{\text{внутр.сил}} = 0 \quad (3.14)$$

$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \rightarrow \vec{L} = \text{const}$ - Мы получили закон сохранения момента импульса

Контрольные вопросы

1. Сформулируй первый закон Ньютона и объясни, что называют инерциальной системой отсчета
2. Дай определение силы как физической величины и укажи, какими характеристиками она полностью задается
3. Сформулируй второй и третий законы Ньютона и поясни, чем принципиально отличается сила действия от силы противодействия
4. Что такое момент силы относительно точки, от каких величин он зависит и как определяется плечо силы
5. Дай определение момента импульса материальной точки и сформулируй условие, при котором момент импульса замкнутой системы сохраняется

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. шк., 1990.- 478 с.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики М.: Высш. шк., 1989.- 608 с.
3. Савельев И.В. Общий курс физики. Т1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1988.- 416 с.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики.- М.: Наука, 1985.
5. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.1,2,3.-М.: Наука, 1974,1980
6. Сивухин Д.В. Курс общей Физики. – М.: Наука, 1986. Т. 1.