**Лекция № 2. Законы механики Ньютона**

**Цель:** ввести понятия «сила», «масса», «импульс»; сформулировать три закона Ньютона.

**Основные понятия:**

*Динамика* – раздел механики, изучающий движение тел под действием приложенных к ним сил.

*Инерция* – свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на них других тел.

*Инерциальные системы отсчета* – системы, для которых выполняется закон инерции (первый закон Ньютона).

*Сила* – это векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел.

*Принцип независимости действия* – если на тело одновременно действуют несколько сил, то каждая из сил действует независимо от других сил.

*Инертность* – свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, когда действующие на него силы отсутствуют или взаимно уравновешены.

*Масса* – это физическая величина, являющаяся мерой инертности тела при поступательном движении.

*Импульс* – векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость.

**2.1. Первый закон Ньютона (закон инерции)**

Наблюдения и опыт показывают, что тела получают ускорение относительно Земли, т. е. изменяют свою скорость относительно Земли, только при действии на них других тел. Каждый раз, когда какое-либо тело получает ускорение по отношению к Земле, можно указать другое тело, которое это ускорение вызвало. Например, бросаемый мяч приходит в движение, т. е. получает ускорение, под действием мышц руки. Ловя мяч, мы замедляем и останавливаем его, также действуя на него рукой. Пуля, вылетающая с большой скоростью под действием пороховых газов, постепенно уменьшает свою скорость под действием воздуха. Скорость камня, брошенного вверх, уменьшается под действием силы притяжения Земли; затем камень останавливается и начинает двигаться вниз со все увеличивающейся скоростью (также вследствие притяжения Земли).

Во всех этих и других подобных случаях изменение скорости, т. е. возникновение ускорения, есть результат действия на данное тело других тел, причем в одних случаях это действие проявляется при непосредственном соприкосновении (рука, воздух), а в других – на расстоянии (воздействие Земли на камень).

Если на данное тело никакие другие тела не действуют, то в этом случае тело будет, либо оставаться в покое относительно Земли, либо двигаться относительно нее равномерно и прямолинейно, т. е. без ускорения. Проверить простыми опытами, что в отсутствие действия других тел данное тело движется относительно Земли без ускорений, практически невозможно, потому что невозможно полностью устранить действия всех окружающих тел. Но чем тщательнее устранены эти действия, тем ближе движение данного тела к равномерному и прямолинейному.

Труднее всего устранить действие трения, возникающего между движущимся телом и подставкой, по которой оно катится или скользит, или средой (воздух, вода), в которой оно движется.

В некоторых физических приборах удается осуществить движение элементарных частиц, при котором каждая частица практически не испытывает действия никаких других частиц вещества (для этого из прибора необходимо тщательно удалить воздух). В этих условиях движение частиц очень близко к прямолинейному и равномерному (благодаря большой скорости и малой массе частиц притяжение Земли в таких опытах практически не сказывается).

Тщательные опыты по изучению движения тел были впервые произведены Галилеем в конце XVI и начале XVII веков. Они позволили установить следующий основной закон.

Если на тело не действуют никакие другие тела, то тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения относительно Земли.

Как при покое, так и при равномерном прямолинейном движении ускорение отсутствует. Следовательно, закон, установленный Галилеем, означает: чтобы тело двигалось с ускорением относительно Земли, на него должны действовать другие тела. Причина ускорения – это действие других тел.

Свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на них других тел называют инерцией тел (от латинского слова inertia – бездеятельность, косность). Поэтому и указанный закон называют законом инерции, а движение при отсутствии действия на тело других тел называют движением по инерции.

Закон инерции явился первым шагом в установлении основных законов механики, в то время еще совершенно неясных. Впоследствии английский физик Исаак Ньютон, формулируя общие законы движения тел, включил в их число закон инерции в качестве первого закона движения. Поэтому закон инерции часто называют первым законом Ньютона.

Итак, тела получают ускорения под действием других тел. Если действия, оказываемые на разные части тела, различны, то эти части получат разные ускорения и через некоторое время приобретут различные скорости. В результате может измениться сам характер движения тела в целом. Например, при резком изменении скорости вагона трение о пол будет увлекать за собой ноги пассажира, но, ни на туловище, ни на голову никакого действия со стороны пола оказано не будет, и эти части тела будут продолжать двигаться по инерции. Поэтому, например, при торможении вагона скорость ног уменьшится, а туловище и голова, скорость которых останется без изменений, опередят ноги; в результате тело пассажира наклонится вперед по движению. Наоборот, при резком увеличении скорости вагона туловище и голова, сохраняя по инерции прежнюю скорость, отстанут от ног, увлекаемых вагоном, и тело пассажира отклонится назад.

Системы отсчета, для которых выполняется закон инерции, называют инерциальными системами. Опыты Галилея показали, что Земля – инерциальная система отсчета. Но Земля – не единственная такая система. Инерциальных систем отсчета – бесчисленное множество. Например, поезд, идущий с постоян­ной скоростью по прямому участку пути, – тоже инерциальная система отсчета. Тело получает ускорение относительно поезда также только под действием других тел.

Вообще всякая система отсчета, движущаяся относительно какой-либо инерциальной системы (например, Земли) поступательно, равномерно и прямолинейно, также является инерциальной.

Если какая-либо система отсчета движется относительно инерциальной системы поступательно, но не равномерно и прямолинейно, а с ускорением или же вращаясь, то такая система не может быть инерциальной. Действительно, относительно такой системы тело может иметь ускорение даже в отсутствие действия на него других тел. Например, тело, покоящееся относительно Земли, будет иметь ускорение относительно тормозящего поезда или поезда, проходящего закругление пути, хотя никакие тела это ускорение не вызывают.

Необходимо отметить, что опыты Галилея, как и всякие опыты, производились с известной степенью точности. Впоследствии при помощи более тщательных исследований установили, что Землю можно считать инерциальной системой только приближенно: в движениях относительно нее имеются нарушения закона инерции. С большей точностью инерциальной системой отсчета является система, связанная с Солнцем и другими звездами. Земля же движется относительно Солнца и звезд с ускорением и вращается вокруг своей оси. Однако нарушения закона инерции для Земли как системы отсчета очень малы.

**2.2. Сила**

Из закона инерции следует, что тело само по себе, без взаимодействия с окружающими его телами, не может изменить своей скорости. Всякое изменение величины или направления скорости движения тела вызывается воздействием на него внешних тел. Действия тел друг на друга, создающие ускорения, называют силами.

Сила – это векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей.

Сила, как и любая векторная величина, считается заданной, если известны ее модуль, направление в пространстве и точка приложения. Прямая, вдоль которой направлена сила, называется линией действия силы.

Понятие силы всегда относится к двум телам (или телу и полю). При воздействии одного тела на другое происходит их взаимодействие либо при соприкосновении, либо на расстоянии посредством поля.

Физическая природа взаимодействий может быть различна. В настоящее время известно четыре типа фундаментальных взаимодействий:

а) гравитационное, возникающее между телами за счет всемирного тяготения;

б) электромагнитное, возникающее между неподвижными или движущимися заряженными частицами или телами;

в) сильное или ядерное, характеризующее взаимодействие элементарных частиц, например тех, которые входят в состав атомного ядра;

г) слабое взаимодействие, имеющее своим результатом распад некоторых элементарных частиц.

В механике рассматриваются гравитационные силы, или силы тяготения, и разновидности электромагнитных сил – сила упругости и сила трения. Такие силы зависят либо от расстояния между телами или частями одного и того же тела, либо от относительных скоростей движения тел.

Для сил различной физической природы справедлив принцип независимости действия, или принцип суперпозиции (наложения) сил: если на материальную точку (тело) одновременно действуют несколько сил, то каждая из сил действует независимо от других сил.

Система нескольких сил, одновременно действующих на материальную точку, можно заменить равнодействующей силой, равной их геометрической сумме:

.

Для определения равнодействующей двух сил пользуются правилом параллелограмма: равнодействующая сила  равна диагонали параллелограмма, сторонами которого являются две слагаемые силы  и .

Если известны модули сил  и  и угол между ними *α*, то можно определить модуль равнодействующей силы. По теореме косинусов имеем:

.

Из данного выражения видно, что модуль равнодействующей силы зависит не только от модулей составляющих сил, но и от косинуса угла между ними.

**2.3. Масса – мера инертности**

Вследствие инертности тела сохраняют свою скорость в отсутствие взаимодействия с другими телами.

Инертность – свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, когда действующие на него силы отсутствуют или взаимно уравновешены.

Предположим, что на рельсах стоят два одинаковых вагона, один из которых порожний, а другой груженый. Какой из вагонов «легче» вывести из состояния покоя, т. е. изменить его скорость? Разумеется, пустой. Пусть порожний и груженый вагоны движутся с одинаковой скоростью. Какой из этих вагонов «труднее» остановить, т. е. изменить его скорость? Разумеется, груженый. Таким образом, инертность груженого вагона больше, чем инертность пустого, потому что масса груженого вагона больше массы пустого.

Масса (от лат. massa – ком, кусок, груда) – это физическая величина, являющаяся мерой инертности тела при поступательном движении.

Масса – величина скалярная. Единица массы – килограмм (кг).

В классической механике, или механике Ньютона, т. е. когда скорость движения макротел много меньше скорости света *с* в вакууме считается, что масса тела не зависит от скорости его движения.

Масса – величина аддитивная, т. е. масса тела равна сумме масс всех частиц (или материальных точек), из которых оно состоит. Если, например, три тела массами соединить вместе, то масса объединенного тела *m* будет равна сумме масс тел его составляющих: Если тело разделить на части, например, разорвался снаряд, то сумма масс частей (осколков) будет равна массе тела до разделения (массе снаряда). Важнейшее свойство массы – ее сохранение: масса замкнутой системы тел остается неизменной при любых процессах, происходящих в системе.

**2.5. Второй закон Ньютона**

Разные силы, действующие на одно и то же тело, сообщают ему различные ускорения. Как показывают опыты, ускорение тела пропорционально действующей на него силе:

.

При действии одинаковых сил на различные тела ускорения тел обратно пропорциональны их массам:

.

Второй закон Ньютона: ускорение тела в инерциальной системе отсчета пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально массе тела:

.

Векторы ускорения  и силы  сонаправлены.

В такой форме второй закон Ньютона справедлив для поступательного движения неизменного по массе тела конечных размеров, при этом все точки тела движутся с одним и тем же ускорением.

Второй закон Ньютона часто записывают в виде:

.

Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на его ускорение.

Единица силы – ньютон (Н).

Если на тело действует несколько сил, то в формуле закона Ньютона под силой  следует понимать равнодействующую этих сил.

**4.6. Третий закон Ньютона**

Понятие «сила» всегда относится к двум телам. Сила возникает при взаимодействии двух тел, при этом материальные точки или тела являются равноправными.

Равноправие взаимодействующих материальных точек (тел) отражает третий закон Ньютона: силы взаимодействия двух тел в инерциальной системе отсчета равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей эти тела:

.

Одну из сил, например , называют силой действия, другую () – силой противодействия. Эти силы всегда действуют парами и являются силами одной природы, так как возникают при взаимодействии тел. Эти силы приложены к разным телам, поэтому не могут уравновешивать друг друга.

При взаимодействии двух тел ускорения, приобретаемые данными телами, обратно пропорциональны их массам:

.

Три закона Ньютона описывают движение почти всех материальных объектов, окружающих нас: от молекул газов до планет Солнечной системы.

**2.4. Импульс тела**

Механическое состояние материальной точки в данной системе отсчета определяется координатами *х, у, z* (или радиусом-вектором ) и ее скоростью . Если одна из величин изменяется, то материальная точка переходит в другое механическое состояние.

Функцией механического состояния материальной точки является физическая величина, называемая импульсом (от лат. impulses – толчок, удар).

Импульс материальной точки  – векторная величина, равная произведению массы *m* точки на скорость  ее движения:

.

Единица импульса – килограмм-метр в секунду (кг м/с).

Так как масса всегда положительна, то векторы скорости и импульса являются сонаправленными.

Каждому механическому состоянию данной материальной точки в выбранной системе отсчета соответствует определенный импульс.

Импульс не зависит ни от процесса, в результате которого материальная точка оказалась в данном механическом состоянии, ни от предыдущих или последующих ее механических состояний. Импульс – одна из важнейших характеристик движения материальных тел.

Любое тело можно представить как систему материальных точек.

Импульс  тела, состоящий из *n* материальных точек, равен векторной сумме импульсов всех точек системы:

.

При поступательном движении все материальные точки системы движутся с одной и той же скоростью . Суммарная масса точек системы равна массе тела *m*. Векторы импульсов всех материальных точек сонаправлены.

Импульс тела  – векторная величина, равная произведению массы тела на скорость  поступательного движения:

.

Если материальная точка (тело) движется поступательно по инерции (=const), то импульс не изменяется, т.е. остается постоянным (=const).

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что изучает динамика?

2. Какое тело называют свободным?

3. Сформулируйте первый закон Ньютона.

4. Какую систему отсчета называют инерциальной?

5. Дайте определение силы.

6. В чем заключается принцип независимости действия сил?

7. Что такое инертность? Какая физическая величина является мерой инертности тела?

8. Чему равен импульс тела?

9. Сформулируйте второй закон Ньютона.

10. Сформулируйте третий закон Ньютона.