

# Механика.

- Лектор:
- Парахин А.С., к. ф.-м. наук, доцент.

# 3. Динамика материальной точки.

- 3.1. Понятие силы.
- Определение. Динамикой называется раздел механики, изучающий влияние взаимодействия тел на характер их движения.

# Определение силы.

- Основным понятием динамики является сила.
- Определение. Физическая величина, характеризующая направление и интенсивность действия на данное тело других тел и определяющая его ускорение, называется силой, действующей со стороны других тел на данное тело.

# Фундаментальные взаимодействия.

- В природе существует 4 вида фундаментальных взаимодействий, к которым сводятся все встречающиеся в природе силы. К таким фундаментальным взаимодействиям относятся следующие.
- Электромагнитное взаимодействие.
- Гравитационное взаимодействие.
- Сильное взаимодействие.
- Слабое взаимодействие.

# Принцип суперпозиции.

- Сила есть векторная величина, поэтому, если на тело действует несколько сил, их общий результат определяется векторным сложением отдельных сил.
- Иначе говоря: ускорение, приобретаемое телом под действием суммы сил, равно сумме ускорений, приобретаемых телом под действием каждой из сил в отдельности. Это утверждение и носит название принципа суперпозиции сил.

## 3.2. Понятие массы.

- Опыт показывает, что чем больше сила, действующая на тело, тем больше ускорение, которое оно получает. Однако одна и та же сила разным телам сообщает разные ускорения. Это означает, что кроме силы ускорение определяется некоторым собственным свойством тел, которое не зависит от силы. Этим свойством тел является т.н. их инертность.
- Определение. Свойство тел сопротивляться ускорению называется инертностью тел.

# Отношение ускорений взаимодействующих тел.

- Опыт показывает, что одни тела обладают большей инертностью, другие меньшей. Для характеристики инертности вводится специальное понятие масса тела, как мера инертности. Опыт показывает, что действие одних тел на другие всегда является взаимодействием. В процессе взаимодействия двух тел ускорение получают оба тела. При этом, в каких бы взаимодействия они не участвовали, отношение их ускорений остаётся величиной постоянной, не зависящей от интенсивности взаимодействия, т.е.
- $\frac{a_1}{a_2} = \text{const}$

# Демонстрация.

- [Progr D: Progr E: Progr F: Progr G:](#)



# Эксперимент с пробным телом.

- Пусть некоторое тело (назовём его пробным телом) поочерёдно вступает во взаимодействие с двумя другими телами. При этом ускорение, которое получает пробное тело, остаётся неизменным при взаимодействии с разными телами. В результате получим два равенства:
- $\frac{a}{a_1} = \text{const} = m_1, \quad \frac{a}{a_2} = \text{const} = m_2$

# Определение массы.

- Поделив второе уравнение на первое, получим
- $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$
- На этом равенстве и основано определение массы тел.
- Определение. Массой тел называется физическая величина, характеризующая их инертные свойства, являющаяся мерой их инертности и определяемая таким образом, что отношение масс двух взаимодействующих тел равно обратному отношению ускорений, которые они приобретают в результате этого взаимодействия.

# Единица измерения массы.

- Данное определение определяет только отношение масс, но не их абсолютные величины. Для определения абсолютного значения масс нужно выбрать некоторое тело в качестве эталона, считать его массу равной единице и с ним сравнивать массы всех остальных тел. В качестве такого эталона договорились выбрать 1 литр чистой дистиллированной воды при температуре 4 градуса Цельсия. Массу этого эталона и стали считать единицей массы и называли килограмм.

# Твёрдый эталон массы.

- Однако, с жидким эталоном трудно сравнивать массы остальных тел. Он может пролиться, испариться и т.п. Поэтому в качестве эталона стали использовать эталон в виде твёрдого тела, масса которого в точности равна массе одного литра чистой дистиллированной воды при 4 градусах Цельсия. Этот эталон есть цилиндр из сплава иридия с платиной. Он хранится в г. Севре близ Парижа. В других странах изготовлены точные копии такого эталона для использования внутри страны.

# Единица массы в атомной физике.

- В атомной физике часто используется другая единица массы –  $1/12$  массы атома углерода с массовым числом 12. Эта масса равна  $1.660531 \cdot 10^{-27}$  кг и обозначается а.е.м. Таким образом,  $1\text{кг}=6.02217 \cdot 10^{26}$  а.е.м. Иначе говоря, в килограмме укладывается примерно  $6.02 \cdot 10^{26}$  а.е.м.

# Аддитивность массы.

- Опыт показывает, что если тело состоит из нескольких тел, то их общая масса равна сумме масс составляющих частей. Это свойство массы называется аддитивностью. Это свойство выполняется строго в макромире и может нарушаться в микромире, где энергия связи сложных частиц определяется т.н. дефектом масс.

## 3.3. Законы Ньютона.

- Свободное тело.
- Опыт показывает, что сила взаимодействия тел зависит от расстояния между ними. Причём, для достаточно больших расстояний сила взаимодействия между телами начинает убывать с увеличением расстояния. Так что для достаточно больших расстояний между телами можно считать, что они не взаимодействуют.
- Определение. Тело, достаточно удалённое от других тел, так что другие тела на него не действуют, называется свободным телом.

# Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона.

- Определение. Системы отсчёта, телом отсчёта которых является свободное тело, называются инерциальными системами отсчёта.
- Первый закон Ньютона: в инерциальных системах отсчёта тело движется равномерно и прямолинейно или покоится, если на него не действуют другие тела или их действие скомпенсировано.



# Второй закон Ньютона.

- Опыт показывает, что в инерциальных системах отсчёта ускорение, которое приобретают тела под действием силы прямо пропорционально величине этой силы и обратно пропорционально его массе. Это утверждение и носит название второго закона Ньютона.

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

- В том случае, когда на тело действует несколько сил, ускорение тела определяется равнодействующей этих сил, равной геометрической их сумме

- $$\vec{a} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m}$$

# Из принципа суперпозиции.

- Второй закон Ньютона есть следствие принципа суперпозиции. А именно. Пусть ускорение есть некоторая функция силы:
- $\vec{a} = f(\vec{F})$ .
- Пусть теперь на тело действует две силы, тогда, каждая из которых создаёт в отдельности своё ускорение:
- $\vec{a}_1 = f(\vec{F}_1), \vec{a}_2 = f(\vec{F}_2)$

# Одновременное действие сил.

- Вместе силы создают ускорение:
- $\vec{a} = f(\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$
- Согласно принципу суперпозиции:
- $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 = f(\vec{F}_1) + f(\vec{F}_2)$ .
- Сравнивая эти два выражения, находим:
- $f(\vec{F}_1 + \vec{F}_2) = f(\vec{F}_1) + f(\vec{F}_2)$

# Второй закон Ньютона.

- В результате получили функциональное уравнение, которое имеет одно единственное решение – линейная функция, точнее – прямая пропорциональность, т.е.
- $f(\vec{F}) = k\vec{F}$
- Коэффициент  $k$  определяется свойствами самого тела и, как показывает опыт, обратно пропорционален массе тела.

# Единицы силы.

- Из второго закона Ньютона следует размерность силы.
- $[F] = [m][a] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$
- Устаревшая единица силы – кГ
- Килограммом силы называется сила тяжести тела массой один килограмм.

# Демонстрационный эксперимент.

- Progr D: Progr E: Progr F: Progr G:

# Третий закон Ньютона.

- Если взаимодействуют два тела, то для каждого из них можно написать второй закон Ньютона в форме

- $$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_{12}}{m_1}, \quad \vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_{21}}{m_2}$$

- Из определения массы можно заключить, что  $|\vec{a}_2| m_2 = |\vec{a}_1| m_1$
- Кроме того из опыта следует, что  $\vec{a}_2 \uparrow \downarrow \vec{a}_1$

# Формулировка третьего закона Ньютона.

- $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
- Сила, действующая на первое тело со стороны второго при их взаимодействии, равна по величине и противоположна по направлению силе, действующей на второе тело со стороны первого.
- Все три закона Ньютона вместе составляют основные постулаты классической механики, как постулаты Евклида обосновывают евклидову геометрию.



# 3.4. Импульс материальной точки. Закон изменения и сохранения импульса.

- Определение. Произведение массы тела на его скорость называется импульсом этого тела и обозначается .
- $\vec{p} = m\vec{v}$
- Из определения импульса следует, что импульс есть векторная величина. Его направление совпадает с направлением скорости. Размерность импульса определяется размерностью массы и скорости
- $[p] = m[v] = \text{кг} \cdot \text{м/с}$

# Закон изменения импульса материальной точки.

- Из второго закона Ньютона и определения ускорения следует:

- $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$

- В том случае, когда масса тела остаётся постоянной величиной, этот закон можно записать по-новому, внося массу под знак производной

- $\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$  или  $\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$

# Формулировка закона изменения импульса.

- $\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$
- Это утверждение и называется законом изменения импульса материальной точки. Оно гласит. Скорость изменения импульса материальной точки равна равнодействующей всех сил, действующих на неё.

# Следствия из закона изменения импульса.

- В том случае, когда равнодействующая всех сил равна нулю
- $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$
- из закона изменения импульса следует
- $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \implies \vec{p} = \text{const}$
- Это утверждение носит название закона сохранения импульса для материальной точки. Оно гласит: если равнодействующая всех сил равна нулю, импульс материальной точки остаётся постоянным и по величине и по направлению.