Лекция 1

Относительность движения.

1. Системы отсчета.
2. Принцип относительности Галилея.
3. Закон сложения скоростей.

Известно, что движение относительно, это означает, что характер движения, т.е. положение тела, его скорость и вид траектории зависят от того, в какой системе отсчета рассматривается движение. Поэтому важно, особенно при решении задач на относительное движение, уметь переходить в более удобную систему отсчета. Решение многих задач значительно упрощается при переходе в удобную систему отсчета.

Выбор наиболее удобной для данной задачи системы отсчета и системы координат значительно упрощает решение задач не только по кинематике. От выбора системы отсчета и системы координат зависит вид как динамических, так и энергетических уравнений.

Большую трудность у обучающихся вызывают задачи, рассматривающие движение различных точек твердого тела. Это связано с неправильным применением понятий мгновенный центр вращения и мгновенная ось вращения. Правильное использование этих понятий позволяет значительно упростить решение многих задач.

В данной лекции рассмотрим системы отсчета, принцип относительности Галилея, закон сложения скоростей.

## 1. Системы отсчета.

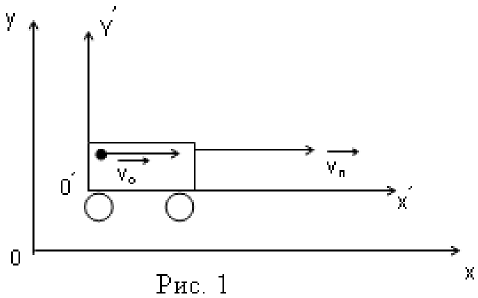

Рис. 1

При анализе задач на движение тела одним из самых важных моментов является выбор наиболее удобной для решения системы отсчета.

Если тело участвует одновременно в нескольких движениях (например, человек идет по движущемуся вагону, лодка движется по реке и т.д.), то вводятся понятия переносного, относительного и абсолютного движения (рис. 1).

За неподвижную систему отсчета чаще всего принимают Землю. Тогда движение подвижной системы отсчета относительно неподвижной (движение вагона относительно земли, движение воды относительно берега) называют *переносным движением*.

Движение тела относительно подвижной системы отсчета (движение человека относительно вагона, движение лодки относительно воды) называют *относительным движением.*

Движение тела относительно неподвижной системы отсчета (движение человека относительно земли, движение лодки относительно берега) называют *абсолютным движением.*

Системы отсчета, в которых любое тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действие этих тел скомпенсировано, называются **инерциальными** (ИСО). В таких системах отсчета тело будет сохранять первоначальное состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока действие других тел не заставит его изменить это состояние.

Инерциальными являются и системы отсчета, которые движутся равномерно и прямолинейно относительно какой-либо инерциальной системы отсчета. ИСО особый класс систем отсчета, в которых ускорения тел обусловлены только реальными силами, действующими на тела. Инерциальных систем существует бесконечное множество. Все ИСО образуют класс систем, которые движутся друг относительно друга равномерно и прямолинейно.

## 2. Принцип относительности Галилея.

*Принцип относительности Галилея* гласит, что все *механические* явления в инерциальных системах отсчета протекают одинаково при скоростях намного меньших скорости света в вакууме. Время *инвариантно (неизменно)* относительно *преобразований Галилея.*

Из принципа относительности Галилея следует, что никакими механическими опытами, поставленными внутри инерциальной системы отсчета, невозможно установить, покоится эта система или движется равномерно и прямолинейно. Математическое выражение законов механики (законы динамики) имеет одинаковый вид в каждой ИСО.

Согласно механическому принципу относительности Галилея, **векторная** сумма относительного и переносного перемещения составляет абсолютное перемещение

$$\vec{r}_n + \vec{r}_o = \vec{r}_a$$

**Векторная** сумма относительной и переносной скорости составляет абсолютную скорость $\vec{\upsilon}_n + \vec{\upsilon}_o = \vec{\upsilon}_a$

**Векторная** сумма относительного и переносного ускорения составляет абсолютное ускорение $\vec{a}_n + \vec{a}_o = \vec{a}_a \quad \vec{a}_n = 0, \; так \;\; как \;\; \vec{\upsilon}_n = const$

Время абсолютно (инвариантно)

$$t = t'$$

*Приведенные выше действия означают переход из одной системы отсчета в другую.* Но справедливы они лишь для поступательного движения одной системы отсчета относительно другой (координатные оси движущейся системы отсчета все время параллельны координатным осям неподвижной системы отсчета).

## 3. Закон сложения скоростей.

Правило сложения скоростей устанавливает связь между скоростями одной и той же материальной точки в разных системах отсчета. Для получения математического выражения закона сложения скоростей исходим из положения о том, что каждая система отсчета жестко связана с некоторым телом отсчета и что движение материальной точки выглядит по-разному в различных системах отсчета. Поясним это на примере.

Пусть есть две системы отсчета S и S', движущиеся друг относительно друга. Поскольку движение и покой относительны, допустим, что система S неподвижна, а система S' - движется. Движение материальной точки M относительно системы S называют *абсолютным движением*, а относительно системы S' - *относительным движением*. А движение S' относительно S представляет *переносное движение*. Скорость точки M относительно системы S называют, соответственно, *абсолютной скоростью*, а относительно системы S' - *относительной скоростью*. Скорость системы S' относительно S называют переносной скоростью. Поясним это на примере: допустим система S это комната, а система S' - летящий воздушный шарик, а точка M это муравей, ползущий по шарику. Тогда переносная скорость – это скорость относительно комнаты воздушного шарика. В любой момент времени абсолютная $\vec{\upsilon}_{абс}$, относительная $\vec{\upsilon}_{отн}$ и переносная $\vec{\upsilon}_{пер}$ скорости связаны соотношением

$$\vec{\upsilon}_{абс} = \vec{\upsilon}_{отн} + \vec{\upsilon}_{пер}$$

Очень важно понимать, что **физическая система отсчета и математическая система координат** в выбранной системе отсчета совершенно не одно и то же. Так, в системе отсчета, связанной с Землей, координатная система может быть и прямоугольной, и косоугольной, и одномерной, и двухмерной, и трехмерной, с различным направлением координатных осей.

Выбирая систему отсчета и систему координат, следует помнить, что:

1. С одной и той же системой отсчета можно связать различные системы координат.

2. Уравнения движения, записанные в **векторном** виде, имеют **разный вид** в **различных системах отсчета**, но в любой **координатной системе** в данной системе отсчета их **вид одинаков**.

3. Уравнения движения, записанные в **проекциях**, имеют **различный вид** не только в разных **системах отсчета**, но и в **разных координатных системах**, связанных с одной и той же системой отсчета.

4. При решении задачи предлагается мысленно применить к данным условиям несколько систем отсчета и выбрать ту, в которой решение будет наиболее простым.

Переход в другую систему отсчета сопровождается обязательно вычислением **относительных** кинематических параметров: перемещения, относительной скорости или относительного ускорения.

$$\vec{r}_{1-2} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$$
$$\vec{\upsilon}_{1-2} = \vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}_2$$
$$\vec{a}_{1-2} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$$

Здесь индекс 1-2 означает параметр первого тела относительно второго, принятого за точку отсчета.

Часто переход в другую систему отсчета может сделать ситуацию более наглядной. Например, как узнать, на каком минимальном расстоянии друг от друга пролетят пушечные ядра после одновременного выстрела из двух пушек.

Для этого достаточно одно из ядер принять за неподвижную точку отсчета (рис.2). Тогда относительное ускорение второго ядра относительно первого равно

$$\vec{a}_{2-1} = \vec{a}_2 - \vec{a}_1 = \vec{g} - \vec{g} = 0$$

Это значит, что второе ядро относительно первого летит равномерно и прямолинейно со скоростью

$$\vec{\upsilon}_{2-1} = \vec{\upsilon}_2 - \vec{\upsilon}_1$$

Для определения минимального расстояния между ядрами достаточно опустить перпендикуляр из точки отсчета (центр первого ядра) на направление относительной скорости $\vec{\upsilon}_{2-1}$.

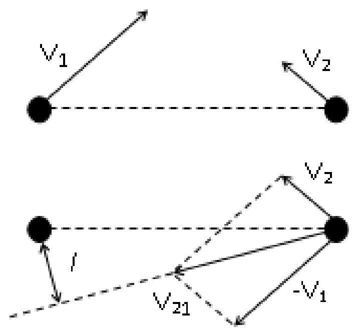

Рис.2

Пример: По пересекающимся под углом 60° дорогам движутся две автомашины с одинаковыми скоростями 60 км/ч. Через какое время после встречи на перекрестке расстояние между ними будет 30 км?

Решение:

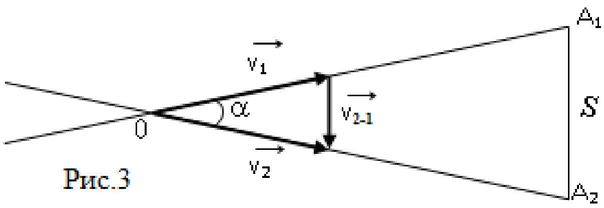

Рис.3

Выберем в качестве неподвижной системы первую автомашину. Тогда скорость второй автомашины относительно первой будет равна (рис.3):

$$\vec{\upsilon}_{2-1} = \vec{\upsilon}_2 - \vec{\upsilon}_1$$

Получившийся треугольник равносторонний. Значит, $\upsilon_{2-1} = \upsilon_2 = \upsilon_1$. Время, по истечении которого расстояние между машинами станет равным S:

$$t = \frac{S}{\upsilon_{2-1}} = \frac{30км}{60км/ч} = 0.5ч$$

Таким образом, расстояние между машинами станет равным 30 км через 30 минут.

**Вопросы для самоконтроля и обсуждения**

1. В чем физическая сущность механического принципа относительности?
2. Каково правило сложения скоростей в классической механике?

3. В чем отличие системы отсчета от системы координат?
4. Какие системы называются инерциальными?
5. Что такое инварианты преобразования?
6. Где используются преобразования Галилея?