

# Основы специальной теории относительности и релятивистской механики

- Мы установили, что в ньютоновской кинематике справедливы преобразования Галилея:
  - $x' = x - vt$ ,
  - $t' = t$ ,
- и нерелятивистский закон сложения скоростей:
  - $v' = v - u$ .
- Дифференцируя этот закон по времени, считая  $u$  постоянной, получим:
  - $a' = a$ , (1.45)
- т. е. ускорение инвариантно (неизменно) относительно преобразований Галилея. Если система  $S$  инерциальна, в ней ускорение свободного тела равно нулю. Равенство (1.45) показывает, что движение свободного тела в системе  $S'$  тоже происходит с нулевым ускорением, следовательно и система  $S'$ , движущаяся относительно  $S$  равномерно и прямолинейно, также является инерциальной.

- Силы взаимодействия между материальными точками зависят от их относительных скоростей и расстояний — между ними, которые не изменяются при преобразованиях Галилея. Таким образом, сила, как и ускорение инвариантна относительно преобразований Галилея и второй, а также и третий законы Ньютона имеют во всех инерциальных системах отсчета одинаковый вид. Это утверждение называется *принципом относительности Галилея*.

- Опыт показывает, что это утверждение можно распространить на все явления природы: *все инерциальные системы отсчета движутся относительно друг друга с постоянными скоростями и никакие эксперименты, проведенные в одной инерциальной системе отсчета, не дают возможности отличить ее от другой, законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.* Это утверждение называется принципом относительности Эйнштейна и является одним из постулатов специальной теории относительности.

- Добавим к координатным осям системы отсчета ось времени, располагая эту ось перпендикулярно координатным осям. В результате получим *пространственно-временную диаграмму*, точки на которой называются *событиями*. В общем случае пространственно-временная диаграмма имеет три пространственные и одну временную ось и является четырехмерной, но в случае одномерного движения можно ограничиться только одной пространственной осью (осью  $x$ ), и диаграмма оказывается двумерной. Движущееся тело изображается на пространственно-временной диаграмме линией, которая называется *мировой линией* тела.

- Мирова́я линия́ тела́, дви́жущегося равномерно и прямолинейно – прямая, а мировые линии неподвижных относительно друг друга тел параллельны (совмещаются параллельным переносом). Преобразование координат и времени – это способ вычислить время и координаты события в одной системе отсчета по времени и координатам этого же события в другой системе и по относительной скорости систем:

- .

- Согласно принципу относительности Эйнштейна система тоже является инерциальной, и свободные тела в ней движутся равномерно и прямолинейно, как и в системе . Значит преобразование должно преобразовывать прямые мировые линии в прямые (а параллельные линии – в параллельные). Из математики известно, что преобразование с такими свойствами является *линейным*:

- ,

- преобразования координат и времени, совместимые с принципом относительности (и изотропностью пространства) имеют вид:
  - или  $x' = \gamma(x - vt)$ ,  $t' = \gamma(t - vx/c^2)$ . (1.49)
- При эти преобразования переходят в преобразования Галилея, однако, на основе одного только принципа относительности мы не можем сделать никаких определенных заключений о значении величины  $v$ .

- Другим постулатом, лежащим в основе специальной теории относительности, является **постулат о постоянстве скорости света**: *скорость света в вакууме не зависит от скорости источника или приемника света и одинакова во всех инерциальных системах отсчета*. Этот постулат А. Эйнштейн предложил как обобщение многочисленных и всегда дававших отрицательный результат опытов по определению зависимости скорости света от скоростей источника и приемника.



- Из постулата о постоянстве скорости света следует, что если мировая линия короткого импульса света в системе  $S$  имеет вид  $x = ct$ , то в системе  $S'$  ее вид  $x' = ct'$ , где  $c$  - одинаковая в обеих системах отсчета скорость света. Такая ситуация несовместима с преобразованиями Галилея, однако для преобразований (1.49) она вполне возможна, если положить в них  $c = c$ . Действительно, взяв в (1.49)  $c = c$  и  $c' = c$ , получим:
  - $x' = \gamma(x - vt)$ ,  $t' = \gamma(t - vx/c^2)$ .
  - Таким образом, преобразования, удовлетворяющие одновременно и принципу относительности и постулату о постоянстве скорости света имеют вид:
  - $x' = \gamma(x - vt)$ ,  $t' = \gamma(t - vx/c^2)$ .

- Динамические законы Ньютона, а также основные следствия их, такие как закон сохранения импульса, оказываются неинвариантными относительно преобразований Лоренца. Более того, некоторые понятия классической механики, например *действие на расстоянии* или *потенциальная энергия* вообще невозможно непротиворечивым образом перенести в теорию относительности. Однако можно переопределить понятия импульса и энергии так, что законы сохранения этих величин станут инвариантными относительно преобразований Лоренца.