

- 2) равноправию всех точек (однородности) пространства,
- 3) его евклидовости.

При этом считалось, что, хотя движение физических тел всегда происходит в пространстве, тела никак не влияют на его свойства.

В классической механике припималось, что можно ввести единое мировое время, текущее равномерно и одинаково, независимо от состояния движения физических тел.

Создание Эйнштейном в 1905 г. теории относительности привело к радикальному пересмотру представлений о свойствах пространства и времени, взглядов на характер электромагнитного поля, отрицанию необходимости и возможности создания механических моделей для всех физических явлений. Теория относительности сыграла важнейшую роль в дальнейшем развитии современной физики, в частности, атомной и ядерной физики. Эта роль заключалась не только в использовании важных соотношений теории относительности. Теория относительности впервые показала, что классические представления, почерпнутые из повседневного опыта, казавшиеся наглядными и очевидными, оказываются несостоятельными или неполными при переходе к новым областям исследований. Поэтому с полным правом можно утверждать, что появление теории относительности знаменовало начало развития новой, неклассической физики.

## § 2. Преобразования Галилея

Для того чтобы характеризовать движение тел в пространстве, необходимо располагать некоторой системой физических тел, между которыми существует какое-либо, например, электромагнитное взаимодействие. Кроме того, необходимо располагать некоторым способом измерения времени. Возможность измерения времени дает любой периодический процесс, именуемый часами. Тогда, зная скорость света и время, требующееся для прохождения света от одного тела до другого, можно определить расстояние между телами. Совокупность тел, находящихся на определенных таким способом расстояниях и снабженных часами, называется системой отсчета. Только располагая системой отсчета, можно говорить об определенном законе движения некоторого тела в пространстве. Если отнести в каждый момент времени положение тела к системе отсчета, то совокупность всех положений тела в пространстве образует траекторию, а последовательность прохождения различных точек траектории — закон движения.

В качестве системы отсчета может быть выбрана любая совокупность тел, движущихся по произвольным законам. Нас,

однако, в дальнейшем будут интересовать так называемые инерциальные системы отсчета. Под инерциальными системами отсчета мы будем понимать такие, в которых справедлив закон инерции Ньютона. Иными словами, в инерциальных системах отсчета движение тел, не подверженных воздействию внешних сил, происходит равномерно и прямолинейно. Особая роль инерциальных систем отсчета связана с тем, что в них движение имеет наиболее простой вид. В неинерциальных системах отсчета, например, во вращающейся системе отсчета, даже простейшее прямолинейное и равномерное движение описывается весьма сложными соотношениями:

Нашей задачей является сравнение законов движения тела в различных системах отсчета. Если некоторый физический закон не изменяется при переходе от одной системы отсчета к другой, то мы будем говорить, что он инвариантен относительно этого преобразования.

Уже давно было установлено, что механические явления происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Иными словами, законы классической механики инвариантны относительно перехода от одних инерциальных систем отсчета к другим.

Рассмотрим две системы отсчета  $K$  и  $K'$ , движущихся относительно друг друга. Систему  $K'$  мы будем называть движущейся, систему  $K$  — неподвижной. Условность такой терминологии будет особенно ясна из дальнейшего.

Легко получить соотношение, связывающие между собой скорости и положения движущегося тела относительно двух инерциальных систем отсчета. Направим оси  $x$  и  $x'$  вдоль вектора скорости относительного движения  $v$ . Тогда относительное движение будет происходить только вдоль положительного направления оси  $x$ . Совместим, кроме того, начала обеих систем в начальный момент времени  $t = 0$  (рис. 22).

Для нахождения законов преобразования от системы отсчета  $K$  к системе  $K'$  заметим, что, согласно сказанному, в обеих инерциальных системах отсчета закон инерциального движения некоторого тела должен иметь один и тот же вид. Именно, в обеих системах ускорение такого тела одинаково и равно нулю, т. е.

$$\ddot{x} = \ddot{x}' = 0; \quad \ddot{y} = \ddot{y}' = 0; \quad \ddot{z} = \ddot{z}' = 0.$$

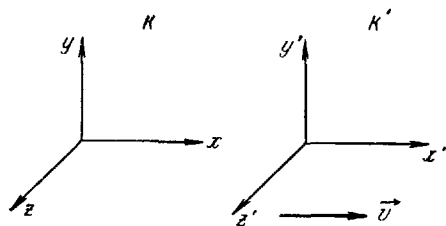


Рис. 22.

Интегрируя, находим

$$\dot{x} = \dot{x}' + v; \quad \dot{y} = \dot{y}'; \quad \dot{z} = \dot{z}'. \quad (2,1)$$

Второе интегрирование дает

$$x = x' + vt; \quad y = y'; \quad z = z'. \quad (2,2)$$

При этом мы молчаливо предполагали, что время имеет абсолютный характер и одинаково во всех системах отсчета. Для полноты системы преобразований следует написать

$$t' = t. \quad (2,3)$$

Формулы (2,2)—(2,3) именуется законом преобразования Галилея, а формулу (2,1) — законом сложения скоростей классической механики. Разумеется, формулы (2,1)—(2,2) можно без труда написать и в векторной форме, не специализируя выбор ориентации осей координат, в виде

$$\dot{\mathbf{r}} = \dot{\mathbf{r}}' + \mathbf{v}, \quad \mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{v}t. \quad (2,4)$$

Неизменность законов классической механики при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой математически выражается в том, что они инвариантны относительно преобразований Галилея. Это означает, что если в уравнениях Ньютона

$$m\ddot{x} = -\frac{\partial U}{\partial x}; \quad m\ddot{y} = -\frac{\partial U}{\partial y}; \quad m\ddot{z} = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

совершить замену  $x \rightarrow x'$ ,  $y \rightarrow y'$ ,  $z \rightarrow z'$ , т. е. перейти от системы  $K$  к системе  $K'$ , они останутся неизменными, если закон преобразования координат и времени представляет закон преобразования Галилея (2,2)—(2,3). Действительно, поскольку в уравнения движения входят только ускорения, при преобразованиях Галилея имеем

$$m\ddot{x}' = -\frac{\partial U}{\partial x'}; \quad m\ddot{y}' = -\frac{\partial U}{\partial y'}; \quad m\ddot{z}' = -\frac{\partial U}{\partial z'},$$

что совпадает с уравнениями движения в нештрихованной системе отсчета.

Необходимо подчеркнуть, что системы отсчета  $K$  и  $K'$  совершенно эквивалентны. С равным успехом мы могли бы рассматривать переход от системы отсчета  $K'$  к системе  $K$ .

Таким образом, равномерное и прямолинейное движение системы отсчета не влияет на механические процессы, происходящие в системе материальных точек. Это утверждение носит название принципа относительности Галилея. Следует отметить, что сам термин «принцип относительности Галилея» был введен в связи с созданием теории относительности. Термин

«относительность» подчеркивает полную равноценность инерциальных систем отсчета. Термины «покой» и «равномерное и прямолинейное движение» имеют относительный характер. Только относительное движение имеет смысл в классической механике. Наоборот, понятие абсолютного покоя и абсолютного движения не имеют реального содержания. Принцип относительности в механике формулируют обычно словами «равномерное и прямолинейное движение системы материальных точек не влияет на внутреннее движение в системе». Принцип относительности классической механики (принцип Галилея) ограничен инерциальными системами отсчета.

В основе принципа относительности Галилея лежат представления классической физики о свойствах пространства и времени. Этот принцип, равно как и вытекающая из него формула сложения скоростей (2,4), подтверждаются таким обширным опытным материалом, в частности, связанным с миром непосредственно окружающих нас явлений, что его принято было считать чем-то самоочевидным.

### § 3. Попытки определения абсолютной скорости

Уже вскоре после создания теории электромагнитного поля Максвелла — Лоренца возник вопрос об ее обобщении на случай движущихся тел.

Существует, однако, глубокое различие между уравнениями классической механики и электродинамики.

Именно, в уравнения Максвелла входит характерная скорость, скорость распространения электромагнитных волн в пустоте (скорость света). Поэтому они не инвариантны относительно преобразований Галилея. В этом легко убедиться непосредственной подстановкой вместо скорости  $c$  суммы  $(c+v)$ .

Естественно, возник вопрос о том, относительно какой системы отсчета измеряется скорость света. Классическая электродинамика Лоренца давала на этот вопрос, казалось бы, однозначный ответ — относительно некоторой гипотетической среды, получившей название мирового эфира.

Эфиру приписывались свойства всепроникающей, однородной и изотропной среды, неподвижной и заполняющей все пространство. В теории Лоренца принималось существование абсолютной выделенной системы отсчета. Двигаться — это значит двигаться по отношению к эфиру, а скорость движения относительно эфира — абсолютная скорость.

Таким образом, в отличие от классической механики, в теории Лоренца была сделана решительная попытка отказаться от принципа относительности. То обстоятельство, что уравнения Максвелла — Лоренца, в отличие от уравнений Ньютона, ока-