

ГЛАВА VIII

ОПТИКА ДВИЖУЩИХСЯ ТЕЛ И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

§ 23. Принцип относительности в классической механике и проблема эфира

Нельзя ли придать понятию скорости абсолютное значение? Классическая механика отвечала отрицательно на этот вопрос. Но он возник опять в связи с развитием оптики и электродинамики.

Как ставилась проблема в механике?

Основной закон классической механики (механики Галилея — Ньютона) устанавливает связь между массой материальной точки m , испытываемым ею ускорением $w = \frac{dv}{dt}$ и действующей на нее силой F :

$$m \frac{dv}{dt} = F. \quad (23.1)$$

Здесь v есть скорость материальной точки, отсчитываемая в некоторой системе отсчета с координатными осями XYZ (рис. 1.125).

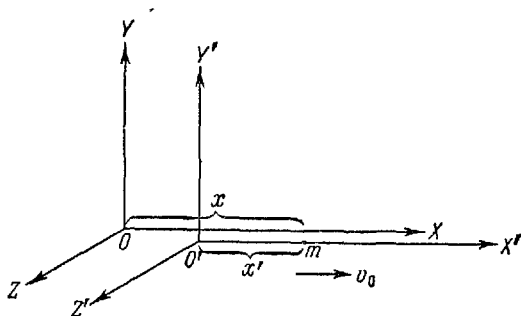


Рис. 1.125.

Рассмотрим другую систему отсчета с координатными осями $X'Y'Z'$, движущуюся относительно первой с некоторой постоянной

скоростью v_0 вдоль оси OX :

$$v_0 = \text{const.} \quad (23.2)$$

Скорость точки m относительно новой системы отсчета v' есть вектор, равный разности векторов v и v_0 :

$$v' = v - v_0. \quad (23.3)$$

Дифференцируя (23.3) и учитывая (23.2), получаем, что

$$\frac{dv'}{dt} = \frac{dv}{dt}, \quad (23.4)$$

т. е. ускорение точки, измеренное в движущейся системе $X'Y'Z'$, в точности такое, как и в «неподвижной» системе XYZ . Подставляя (23.4) в (23.1), можно убедиться, что второй закон Ньютона в движущейся системе

$$m \frac{dv'}{dt} = F \quad (23.5)$$

имеет точно такой же вид, как и в исходной (23.1), поскольку в классической механике масса тела считалась неизменной ($m = \text{const}$), а сила F в обеих системах принималась одинаковой.

В частном случае отсутствия внешней силы ($F = 0$) материальная точка в исходной системе находится в покое или движется с постоянной скоростью ($v = \text{const}$) равномерно и прямолинейно. Такое движение называется **и н е р ц и а л ь н ы м**. Из (23.3) и (23.2) тогда следует, что и в новой системе она будет двигаться по инерции ($v' = v - v_0 = \text{const}$).

Системы отсчета XYZ и $X'Y'Z'$, в которых основной закон динамики имеет соответственно вид (23.1) и (23.5), движущиеся друг относительно друга равномерно и прямолинейно ($v_0 = \text{const}$), называются **и н е р ц и а л ь н ы м и с и с т е м а м и**. Сопоставляя (23.1) с (23.5), мы видим, что основной закон движения классической механики одинаков во всех инерциальных системах. Одинаковы будут во всех инерциальных системах и все его следствия.

Это положение — *законы механики одинаковы во всех инерциальных системах* — носит название **принципа относительности Галилея**.

Обозначим координаты движущейся точки в исходной системе отсчета XYZ (рис. 1.125) в некоторый момент времени t через x , y и z ; координаты этой же точки во второй инерциальной системе $X'Y'Z'$ в тот же самый момент времени $t' = t$ — соответственно через x' , y' и z' . Ординаты и аппликаты точки в обеих системах

одинаковы, а абсциссы равномерно смещаются друг относительно друга со скоростью v_0 , т. е.

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - v_0 t, & x &= x' + v_0 t, \\ y' &= y, & y &= y', \\ z' &= z, & z &= z', \\ t' &= t, & t &= t'. \end{aligned} \right\} \quad (23.6)$$

Соотношения (23.6) связывают между собой координаты и время произвольной материальной точки в инерциальных системах отсчета S и S' и носят название преобразований Галилея*).

Из принципа относительности Галилея следует, что в рамках механики понятие скорости не может иметь абсолютного смысла. Понятие системы отсчета абсолютно покоящейся или абсолютно движущейся лишено смысла. В рассмотренном выше примере бессмысленно ставить вопрос — какова же «на самом деле» скорость рассматриваемой материальной точки: v' или v . Обе координатные системы (XYZ) и $(X'Y'Z')$ динамически совершенно равноправны**), ни одна из них не может быть выделена как преимущественная, в которой скорости мог бы быть придан абсолютный смысл. Физический смысл имеет лишь понятие относительной скорости, скорости одних систем отсчета или тел относительно других систем отсчета или тел.

Однако нет ли возможности придать абсолютный смысл понятию скорости, выйдя за рамки механики? Если существует эфир как всепроникающая материальная среда, носительница электромагнитных возмущений и, в частности, световых волн, то скорости (покою) может быть придан абсолютный смысл, как скорости (покою) по отношению к эфиру. Система отсчета, связанная с эфиром, получит преимущественное значение по сравнению со всеми другими инерциальными системами, и скорость материальной точки в этой системе будет являться абсолютной скоростью точки в пространстве. То обстоятельство, что природа эфира непонятна, не является существенным для данной частной задачи. Вопрос о скорости перемещения тел по отношению к эфиру имеет непосредственный физический смысл, независимо от природы эфира и его частных свойств. Если это так, то должны существовать

*) При произвольном направлении осей и произвольном направлении вектора скорости преобразование Галилея, дающее переход от одной инерциальной системы к другой, имеет вид $\mathbf{r}' = \mathbf{r}_0 - \mathbf{v}_0 t$. Упрощенный вид преобразований Галилея (23.6), обусловленный простейшим выбором направлений осей, момента начала отсчета времени и направления вектора скорости, не снижает общности последующих рассуждений.

**) То есть законы динамики в них имеют один и тот же вид и все механические явления протекают одинаково.

способы измерения этой абсолютной скорости или, как было принято говорить, обнаружения «эфирного ветра».

Поиски эфирного ветра и изучение всех связанных с этим вопросом проблем сыграли огромную роль в развитии физики. Отрицательный результат этих поисков привел к коренному пересмотру понятий пространства и времени, реализованному в созданной Эйнштейном теории относительности (1905 г.). Первые фундаментальные результаты в этом направлении были получены при изучении электродинамических и оптических явлений. Затруднения электродинамики движущихся тел уже отмечались в т. II, § 39. В следующих же параграфах мы остановимся на оптических проблемах, связанных с эфиром.

§ 24. Оптика движущихся сред и проблема эфира

Волновая теория света привела к возникновению в физике понятия об эфире как о всепроникающей среде, в которой могут распространяться упругие возмущения и волны. Эта среда должна обладать ничтожно малой плотностью, чтобы не создавать заметного сопротивления движению небесных тел, не обнаруженного многовековыми наблюдениями астрономов.

Установленная при изучении поляризационных явлений поперечность световых волн заставила считать эфир несжимаемым и способным испытывать лишь упругие деформации сдвига. Обозначая через G модуль сдвига и ρ — плотность эфира, получаем (т. I, § 56) для скорости света выражение

$$c = \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (24.1)$$

Свет распространяется не только в пустоте, но проходит через различные прозрачные тела (стекло, вода, воздух и т. д.). Следовательно, эфир заполняет не только межпланетное пространство, но и заключен внутри тел. Скорость света в среде меньше его скорости в пространстве между телами. Следовательно, свойства эфира в телах изменяются. Воздействуя на заключенный внутри них эфир, тела уменьшают его упругость G или увеличивают его плотность ρ .

Таковы вкратце основные представления о свойствах мирового эфира, якобы объяснявшие большинство оптических явлений.

Возникновение электромагнитной теории света не изменило существа проблемы. Один из основоположников теории электромагнетизма — Фарадей — представлял себе электрическое и магнитное поля как определенного рода деформации эфира. Максвелл, отказавшись от попыток построения механической модели эфира,