

ЧАСТЬ II. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА

Введение

Классическая механика охватывает широкий круг физических явлений — движение и взаимодействие макроскопических тел и их систем, обусловленные гравитационными и электромагнитными силами. Это движение планет Солнечной системы, движение окружающих нас на Земле тел вплоть до отдельных молекул, входящих в состав газа в обычных условиях. В классической механике введены важнейшие физические величины: масса, импульс, момент импульса, энергия, функции Лагранжа, Гамильтона, действие. Они применяются не только в механике, но и в других физических теориях.

Но классическая механика имеет хотя и очень широкую, но тем не менее ограниченную область применения, за пределами которой она должна быть заменена другими теориями. В частности, основополагающая модель классической механики — дальнодействие — есть явная идеализация реальных взаимодействий и приводит к результатам, соответствующим опытным данным, лишь тогда, когда скорость передачи взаимодействия можно считать бесконечно большой по сравнению со скоростью движения тел. Если это главное условие не соблюдено, из классической области движений и взаимодействий переходим в релятивистскую, где некоторые положения классической механики утрачивают силу.

В релятивистской области прежде всего необходимо учитывать конечный характер скорости передачи взаимодействий; в природе имеется предельная скорость передачи любых взаимодействий, движения любых тел и микрочастиц, распространения любых сигналов. Она равна скорости света c в пустоте. Это принципиальное обстоятельство многое меняет в механической картине мира — в общих представлениях об окружающем мире, складывающихся на основе законов классической механики. Прежде всего пересматриваются некоторые кинематические понятия и соотношения, так как единый ход времени во всех системах отсчета, устанавливаемый с помощью мгновенно передающихся синхронизирующих сигналов (см. I, § 3)¹, оказывается в релятивистской области фикцией. Далее, видоизменяются выражения для ряда важнейших динамических величин — импульса, энергии и др. Устанавливаются новые соотношения, связывающие их между собой.

Важнейшим положением для выяснения особенностей движения и взаимодействия в релятивистской области является связь энергии и массы, откуда можно установить энергетический порог, до

¹ Ссылки на первую часть курса обозначаются римской цифрой I

которого масса тел остается величиной аддитивной. Аддитивность массы или положение о том, что масса изолированной системы равна сумме масс входящих в нее материальных точек, выполняется лишь приближенно, до тех пор пока энергия взаимодействия не внесет заметного вклада в массу системы в соответствии с формулой $E = mc^2$. В этом же приближении справедлива и сама модель дальнодействия, согласно которой переносчик взаимодействия — физическое поле, обладающее энергией, импульсом и другими параметрами, в механическую систему не включается.

Но если энергия взаимодействия приближается или превышает указанный порог, картина движения коренным образом меняется: в результате взаимодействия могут исчезнуть одни и возникнуть другие материальные точки; на практике это те или иные микрочастицы. Таким образом, если в классической механике действует (необъявленный) закон сохранения индивидуальности материальной точки, или закон сохранения числа материальных точек в замкнутой системе, то в релятивистской области в общем случае он нарушается и говорить о дифференциальном уравнении движения материальной точки по траектории можно не всегда.

Наконец, если в исходной механической модели материальных точек, связанных действующими на расстоянии силами, ничего, кроме этих материальных точек, нет, а силовое поле рассматривается лишь как объект математический, как описание действующих на расстоянии сил, то в релятивистской области в исходную модель материальных объектов, кроме тел, включается физическое поле как переносчик взаимодействия. Поле наряду с телами описывается такими универсальными физическими характеристиками материи, как энергия, импульс, момент импульса. Таким образом, в релятивистской области появляется новый объект изучения — реальное физическое поле.

Таковы основные особенности релятивистской области движений и взаимодействий. Проникновение человека в данную область вместе с проникновением в область квантовых явлений привело к революционным изменениям в физической науке, произошедшим в конце XIX — начале XX в. Они тесно связаны с созданием специальной теории относительности (СТО) А. Эйнштейном в 1905 г. В нашем курсе рассматривается определенный круг вопросов релятивистской физики, условно объединенных во второй части.

Сначала рассматривается СТО — учение о пространстве и времени в инерциальных системах отсчета, об универсальных физических величинах (энергии, массе, импульсе, моменте), характеризующих изолированную свободную материальную точку. СТО является общефизической теорией, применяемой в различных разделах физики, в том числе и механике движения с высокими скоростями, которую называют релятивистской.

Если в классической механике основной объект — макроскопическое тело, заменяемое материальной точкой, то в релятивистской основной объект — элементарная частица, так как на практике именно элементарные частицы, а не макроскопические тела

движутся с релятивистскими скоростями. По этой причине вместо материальной точки говорят о частице.

Релятивистской динамике принадлежат соотношения между динамическими характеристиками свободной частицы и законы сохранения. Кроме того, здесь изучается хотя и не общий, но важный частный случай взаимодействия тел и полей, при котором индивидуальность частиц — масса покоя — сохраняется, а в результате взаимодействия при движении изменяются импульс и энергия, положение в пространстве. Этот случай называется квазирелятивистским и укладывается при внесении релятивистских поправок в рамки основной задачи механики. Поэтому в курсе изучается *релятивистское обобщение* основного уравнения динамики. Релятивистскими обобщениями определяются в данном разделе курса функции Лагранжа, Гамильтона.

Что касается предельно релятивистского объекта — физического поля, в частности фундаментального электромагнитного поля, то оно изучается в III части курса.

При изложении классической механики подчеркивалась мысль о ее основополагающем значении для всей физики, так как в ней рассматриваются вопросы о пространстве, времени, механическом движении, неотделимом от других форм движения материи. Не в меньшей, а в большей степени это относится к релятивистской механике, ибо в ней по существу уточняются все исходные понятия классической, а она сама выступает как предельный случай релятивистской (при $c = \infty$).

ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО) И КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЙ С ВЫСOKИМИ СКОРОСТЯМИ

§ 1. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца

1.1 Проблема абсолютно неподвижной (привилегированной) системы отсчета. Принцип относительности Галилея провозглашает полное равноправие или эквивалентность всех инерциальных систем отсчета (ИСО) по отношению к механическим явлениям. Это означает, что, находясь в любой ИСО, нельзя установить с помощью механических явлений скорость ее движения относительно некоторой абсолютно неподвижной исходной или, как говорят, *привилегированной системы*, если последняя и существует. В самом деле, в формуле сложения скоростей

$$\vec{v}_a = \vec{v}_n + \vec{v}_{ot},$$

деление скоростей на абсолютную \vec{v}_a и относительную \vec{v}_{ot} имеет чисто условный характер и связано с тем, что одну из инерциальных систем отсчета мы выбираем в качестве неподвижной, тогда другая система движется в первой с постоянной скоростью \vec{v}_n , \vec{V} . Но с тем же основанием в качестве неподвижной системы можно выбрать вторую, а движущейся — первую.