

ГЛАВА X

ЧАСТИЦА В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

§ 81. Гравитационное поле в нерелятивистской механике

Гравитационные поля (или *поля тяготения*) обладают следующим основным свойством: все тела вне зависимости от их массы движутся в них (при заданных начальных условиях) одинаковым образом.

Например, законы свободного падения в поле тяготения земли одинаковы для всех тел, какой бы массой они ни обладали, — все они приобретают одно и то же ускорение.

Это свойство гравитационных полей дает возможность установить существенную аналогию между движением тел в гравитационном поле и движением тел, не находящихся в каком-либо внешнем поле, но рассматриваемых с точки зрения неинерциальной системы отсчета. Действительно, в инерциальной системе отсчета свободное движение всех тел происходит прямолинейно и равномерно, и если, скажем, в начальный момент времени их скорости были одинаковыми, то они будут одинаковыми все время. Очевидно, поэтому, что если рассматривать это движение в заданной неинерциальной системе, то и относительно нее все тела будут двигаться одинаковым образом.

Таким образом, свойства движения в неинерциальной системе отсчета такие же, как в инерциальной системе при наличии гравитационного поля. Другими словами, неинерциальная система отсчета эквивалентна некоторому гравитационному полю. Это обстоятельство называют *принципом эквивалентности*.

Рассмотрим, например, движение в равномерно ускоренной системе отсчета. Свободно движущиеся в ней тела любой массы будут, очевидно, обладать относительно этой системы одинаковым постоянным ускорением, равным и противоположным ускорению самой системы отсчета. Таким же является движение в однородном постоянном гравитационном поле, например в поле тяготения земли (в небольших участках его, где поле можно рассматривать как однородное). Таким образом, равномерно ускоренная система отсчета эквивалентна постоянному однородному внешнему полю. В таком же смысле неравномерно ускоренная, поступательно движущаяся система отсчета эквивалентна однородному, но переменному гравитационному полю.

Однако поля, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, все же не вполне тождественны с «истинными»

гравитационными полями, существующими и в инерциальных системах. Между ними имеется существенное отличие в отношении их свойств на бесконечности. На бесконечном расстоянии от создающих поле тел «истинное» гравитационное поле всегда стремится к нулю. Поля же, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, на бесконечности, напротив, неограниченно возрастают, или, в крайнем случае, остаются конечными по величине. Так, возникающие во вращающейся системе отсчета центробежные силы неограниченно растут при удалении от оси вращения; поле, которому эквивалентна ускоренно прямоilinearно движущаяся система отсчета, одинаково во всем пространстве, в том числе и на бесконечности.

Поля, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, исчезают, как только мы перейдем к инерциальной системе. В противоположность этому, «истинные» гравитационные поля (существующие и в инерциальной системе отсчета) невозможно исключить никаким выбором системы отсчета. Это видно уже из указанного выше различия между условиями на бесконечности в «истинных» гравитационных полях и в полях, которым эквивалентны неинерциальные системы; поскольку последнее на бесконечности к нулю не стремится, то ясно, что никаким выбором системы отсчета нельзя исключить «истинные» поля, обращающиеся на бесконечности в нуль.

Единственное, чего можно достичь надлежащим выбором системы отсчета, это — исключения гравитационного поля в данном участке пространства, достаточно малом для того, чтобы в нем можно было считать поле однородным. Это можно сделать путем выбора ускоренно движущейся системы, ускорение которой было бы равно тому ускорению, которое приобретает частица, помещенная в рассматриваемом участке поля.

Движение частицы в гравитационном поле определяется в не-relativistской механике функцией Лагранжа, имеющей (в инерциальной системе отсчета) вид

$$L = \frac{mv^2}{2} - m\phi, \quad (81,1)$$

где ϕ — некоторая функция координат и времени, характеризующая поле и называемая *гравитационным потенциалом*¹⁾. Соответственно уравнения движения частицы гласят

$$\mathbf{v} = -\operatorname{grad} \phi. \quad (81,2)$$

Они не содержат массы или какой-либо другой постоянной, характеризующей свойства частицы, что является выражением основного свойства гравитационных полей.

¹⁾ Ниже нам не придется больше пользоваться электромагнитным потенциалом ϕ , так что обозначение гравитационного потенциала той же буквой не может привести к недоразумению.