

ГЛАВА V

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ

§ 50. Обобщенный закон Галилея

Наиболее существенная особенность поля тяготения, отличающая его от всех других известных в физике полей, проявляется в характере его влияния на движение свободного тела (материальной точки). При одинаковых начальных условиях (положении и скорости) все свободные тела, независимо от их массы, движутся в поле тяготения одинаковым образом. Этот фундаментальный закон можно рассматривать, как обобщение закона Галилея, согласно которому все тела падают при отсутствии сопротивления с одинаковой скоростью.

Здесь уместно напомнить определения массы инертной и массы весомой (или тяготеющей). Инертная масса есть мера способности тела сопротивляться ускорению: при заданной силе ускорение обратно пропорционально инертной массе. Весомая или тяготеющая масса есть мера способности тела создавать поле тяготения и испытывать воздействие этого поля; в заданном поле тяготения сила, испытываемая телом, пропорциональна его весомой массе.

При помощи этих определений приведенный выше обобщенный закон Галилея может быть формулирован, как закон равенства массы инертной и массы тяготеющей.

По Ньютону, поле тяготения характеризуется потенциалом тяготения $U(x, y, z)$. Потенциал тяготения, порождаемый отдельной сферически симметричной массой M , в точках вне этой массы равен

$$U = \frac{\gamma M}{r}, \quad (50.01)$$

где r есть расстояние от центра массы. Величина γ есть ньютонова постоянная тяготения, численное значение которой в системе (см·г·сек) равно

$$\gamma = \frac{1}{15\,000\,000} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{сек}^2}. \quad (50.02)$$

Таким образом, размерность U совпадает с размерностью квадрата скорости. Заметим здесь же, что во всех встречающихся в природе

случаях, даже на поверхности Солнца и сверхплотных звезд, величина U весьма мала по сравнению с квадратом скорости света

$$U \ll c^2. \quad (50.03)$$

В общем случае произвольного распределения масс порождаемый ими ньютонов потенциал U удовлетворяет уравнению Пуассона

$$\Delta U = -4\pi\gamma\rho, \quad (50.04)$$

где ρ есть плотность масс. Ньютонов потенциал U вполне определяется уравнением Пуассона вместе с условиями непрерывности и предельными условиями, которые заключаются в следующем: функция U и ее первые производные должны быть конечны, однозначны и непрерывны во всем пространстве и обращаться в нуль на бесконечности.

Предположим, что ньютонов потенциал U задан. Сила, испытываемая телом (материальной точкой) с весомой массой $(m)_{\text{вс}}$ в поле тяготения с потенциалом U , равна

$$\mathbf{F} = (m)_{\text{вс}} \cdot \text{grad } U. \quad (50.05)$$

С другой стороны, согласно уравнениям движения Ньютона, мы имеем

$$(m)_{\text{ин}} \cdot \mathbf{w} = \mathbf{F}. \quad (50.06)$$

Поэтому

$$(m)_{\text{ин}} \cdot \mathbf{w} = (m)_{\text{вс}} \cdot \text{grad } U. \quad (50.07)$$

Согласно обобщенному закону Галилея, движение тела в заданном поле тяготения не должно зависеть от его массы. Поэтому отношение инертной массы $(m)_{\text{ин}}$ к весомой массе $(m)_{\text{вс}}$ для всех тел одно и то же, т. е. представляет универсальную постоянную, значение которой может зависеть только от выбора единиц для инертной и весомой массы. При общепринятом выборе единиц будет просто

$$(m)_{\text{ин}} = (m)_{\text{вс}} = m, \quad (50.08)$$

т. е. инертная и весомая масса друг другу равны.

Равенство инертной и весомой массы есть факт настолько привычный, что воспринимается обычно, как нечто само собою разумеющееся. Однако дело обстоит не так просто: это равенство представляет особый и очень важный закон природы, тесно связанный с обобщенным законом Галилея.

Вследствие равенства массы инертной и массы весомой уравнения движения

$$\mathbf{w} = \text{grad } U \quad (50.09)$$

имеют универсальный характер, что и является выражением обобщенного закона Галилея.

Заметим, что уравнения движения (50.09) могут быть получены из вариационного начала

$$\delta \int \left(\frac{1}{2} v^2 + U \right) dt = 0. \quad (50.10)$$

Это послужит нам указанием при построении теории тяготения.

§ 51. Квадрат интервала в ньютоновом приближении

Явление всемирного тяготения требует расширения рамок той теории пространства и времени, которая составляла предмет предыдущих глав. Необходимость такого расширения видна из следующих соображений.

Из уравнения распространения фронта волны, написанного в виде

$$\frac{1}{c^2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} \right)^2 - \left[\left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 \right] = 0, \quad (51.01)$$

вытекает прямолинейность распространения света. Но свет обладает энергией, а по закону пропорциональности между массой и энергией всякая энергия неразрывно связана с некоторой массой; следовательно, свет обладает массой. С другой стороны, по закону всемирного тяготения всякая масса, находящаяся в поле тяготения, должна испытывать действие этого поля; ее движение не будет в общем случае прямолинейным. Поэтому следует ожидать, что и луч света в поле тяготения не будет прямолинейным*). Отсюда вытекает, что в поле тяготения уравнение распространения фронта волны должно несколько отличаться от написанного выше. Но, как мы видели в предыдущих главах, уравнение распространения фронта волны является основной характеристикой свойств пространства и времени. Отсюда следует вывод, что наличие поля тяготения должно влиять на свойства пространства и времени. Такой вывод и делается в теории тяготения к построению которой мы приступаем.

Как было показано в главе I, уравнению распространения фронта волны в форме (51.01) соответствует, при некоторых добавочных предположениях, следующее выражение для квадрата интервала:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2). \quad (51.02)$$

Влияние поля тяготения на свойства пространства и времени должно сказываться в том, что коэффициенты в уравнении распространения фронта волны и в выражении для квадрата интервала будут отличаться от постоянных значений, даваемых формулами (51.01) и (51.02). Нам надлежит установить приближенный вид выражения для квадрата интервала в поле тяготения с ньютоновым потенциалом U . Мы будем опираться

*) Теория отклонения луча света в поле тяготения дана ниже, в § 59.