

прямолинейности траектории мы ограничиваемся так называемым импульсным приближением. Связь между $\int F_x dt$ и составляющей изменения импульса по оси x рассмотрена в гл. 5. Импульсное приближение часто бывает эффективным при условии, что истинная траектория не слишком отличается от прямой, по которой частица двигалась бы при отсутствии взаимодействия.

14.3. Принцип эквивалентности

Тот экспериментальный факт, что ни разу, ни при каких условиях не было обнаружено никакого различия между инертной и гравитационной массами тела, наводит на мысль, что тяготение в известном смысле может быть эквивалентным ускорению. Представим себе наблюдателя, находящегося в лифте и свободно падающего вместе с лифтом с ускорением g .

Принцип эквивалентности гласит, что для наблюдателя в свободно падающем лифте законы физики такие же, как и в инерциальных системах отсчета специальной теории относительности (по крайней мере в непосредственном соседстве с центром лифта). Действия ускоренного движения и силы тяжести полностью взаимно уничтожаются. Наблюдатель, сидящий в закрытом лифте и регистрирующий силы, представляющиеся ему гравитационными, не может сказать, какая доля этих сил обусловлена ускорением и какая — действительными гравитационными силами. Он вообще не обнаружит никаких сил, если только на лифт не подействуют какие-либо другие (т. е. отличные от гравитационных) силы. Постулированный принцип эквивалентности требует, в частности, чтобы отношение инертных масс к гравитационным удовлетворяло тождеству $M_{ин}/M_{гр}=1$. «Невесомость» человека в спутнике на орбите является следствием принципа эквивалентности.

Поиски математических следствий принципа эквивалентности приводят к общей теории относительности; дальнейшее обсуждение этого вопроса можно найти в соответствующей литературе. Классические опыты по проверке общей теории относительности подробно изложены в первой главе книги: L. Witten, Gravitation: An Introduction to Current Research (John Wiley and Sons, New York, 1962).

Задачи

1. Показать, что частота маятника, имеющего длину L , равна

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{M_{гр}}{M_{ин}} \cdot \frac{g}{L} \right)^{1/2},$$

где $M_{гр}$ и $M_{ин}$ — соответственно гравитационная и инертная массы. (Тщательные измерения, выполненные еще Бесселем с помощью маятников, показали равенство $M_{гр}$ и $M_{ин}$ с точностью до $1/(6 \cdot 10^4)$.)

2. Найти выражение для гравитационного красного смещения, не прибегая к допущению, что $\Delta v/v \ll 1$ (но пренебрегая всеми следствиями, вытекающими из кривизны пространства). (Указание: исходить из уравнения $h \Delta v = -(hv/c^2) \times \times (McG/r^2) \Delta r$ и интегрировать по dr от R_c до бесконечности и по dv от v до v' .)

Ответ. $v' = v e^{-GM_C/R_C c^2}$.

3. Оценить величину гравитационного красного смещения, воспринимаемого далеко за пределами нашей Галактики, для света, испускаемого из ее центра. (Считать распределение массы однородным в сфере радиусом 10 000 парсеков. Масса Галактики составляет $8 \cdot 10^{44}$ з.)

Ответ. $\Delta v/v = -3 \cdot 10^{-6}$.

4. В 1962 г. были обнаружены космический источник интенсивного радиоизлучения, который оптически наблюдался в виде звездоподобного объекта с угловым диаметром $0,5'$. Вначале считали, что это — звезда в нашей Галактике, излучающая радиоволны, но затем был получен ее спектр, линии которого оказались значительно смещенными в направлении красного конца. Например, линия атомарного кислорода, имеющая нормальную длину волны $3,727 \cdot 10^{-5}$ см, была обнаружена при длине волны $5,097 \cdot 10^{-5}$ см. Одно из объяснений заключалось в том, что это — чрезвычайно массивная звезда с гравитационным красным смещением. Если эта гипотетическая радиозвезда находится в нашей Галактике, то ее расстояние от Земли должно быть меньше 10^{22} см.

а) Исходя из этой гипотезы и принимая расстояние до Земли за 10^{22} см, вычислить массу и среднюю плотность звезды по ее угловому диаметру и красному смещению. Правдоподобно ли выдвинутое объяснение?

б) Другое предположение заключалось в том, что это — особая радиогалактика с обыкновенным доплеровским красным смещением, рассмотренным в гл. 10. Принимая это предположение, вычислить расстояние от Земли до данной галактики.

в) Согласуется ли последний результат с предположением, что источник является радиогалактикой?

Ответ. а) Масса равна $1,8 \cdot 10^{43}$ з, средняя плотность — $1,6 \cdot 10^{-6}$ г/см³. Это не представляется правдоподобным, так как вычисленная масса составляет около 0,1 всей нашей Галактики.

б) $3,6 \cdot 10^9$ световых лет ($3,4 \cdot 10^{27}$ см).

в) Да, согласуется. Линейный радиус получается равным $1,7 \cdot 10^{22}$ см. Это не выходит из обычных пределов радиусов галактик.

[Более подробные сведения можно найти в работе Дж. Л. Гринштейна «Квазизвездные источники радиоизлучений» — J. L. Greenstein, Quasi-stellar radio sources, Sci. American 209, 54 (1963).]

Из истории физики. Маятники Ньютона

Ниже цитируется приведенное Ньютоном в «Принципах натуральной философии» описание его опытов с маятниками, поставленных для выяснения вопроса, существуют ли колебания в значениях отношения гравитационной массы к инертной.

«Но другими уже давно наблюдалось, что (с поправкой на слабое сопротивление воздуха) все тела спускаются на одинаковое расстояние за одинаковые промежутки времени, и с помощью маятников это свойство промежутков времени может быть установлено с большой точностью.

Я испытывал золото, серебро, свинец, стекло, песок, поваренную соль, дерево, воду и пшеницу. Я достал два одинаковых деревянных ящика. Я наполнил один из них деревом, а в центре качаний другого поместил такого же (насколько точно я мог) веса кусок золота. Подвешенные на нитях длиной 11 футов ящики образовали пару маятников, совершенно одинаковых по весу и форме и одинаково подверженных сопротивлению воздуха; поместив их рядом, я наблюдал, как они качались совместно взад и вперед в течение длительного времени с одинаковыми колебаниями. И потому (в силу Следствий I и VI, Предложение XXIV, Книга II) количество вещества в золоте относилось к количеству вещества в дереве, как действие движущей силы на все золото к действию движущей силы на все дерево; другими словами, как вес одного к весу другого.

И с помощью этих опытов в телах одинакового веса можно было обнаружить различие в количестве вещества, составляющее одну тысячную часть общего количества».