

точек) сил инерции можно заменить действием эквивалентного им поля тяготения. Например, силам инерции, которые возникают в системе отсчета, движущейся поступательно с постоянным ускорением  $a_0$ , эквивалентно однородное поле тяготения с напряженностью  $\mathbf{G} = -\mathbf{a}_0$ .

Из сказанного вытекает следующий вывод, называемый принципом эквивалентности: *движение тела по отношению к неинерциальной системе отсчета эквивалентно его движению относительно инерциальной системы, совершающемуся под влиянием всех реально взаимодействующих с ним тел, а также некоторого дополнительного поля тяготения.*

Принцип эквивалентности не следует понимать как утверждение тождественности сил инерции и тяготения. Поле тяготения, движение в котором (по отношению к инерциальной системе отсчета) эквивалентно движению в какой-либо неинерциальной системе отсчета, существенно отличается от реального гравитационного поля, создаваемого телами. В самом деле, как указывалось выше, поле тяготения, «эквивалентное» поступательно движущейся неинерциальной системе однородно и его напряженность  $\mathbf{G} = -\mathbf{a}_0$ . Следовательно, если в какой-то момент времени ускорение  $\mathbf{a}_0$  системы изменится, то и напряженность «эквивалентного» поля тоже должна измениться, притом одновременно во всех точках пространства. Иными словами, изменения «эквивалентного» поля должны распространяться в пространстве с бесконечно большой скоростью в то время, как согласно теории относительности эта скорость для реальных полей не может превосходить скорость света в вакууме. Далее, напряженность поля тяготения, создаваемого телами, убывает при удалении от этих тел и стремится к нулю в бесконечности. Напряженность «эквивалентного» поля этому условию не удовлетворяет. Например, напряженность поля, «эквивалентного» центробежным силам инерции, неограниченно возрастает при беспредельном удалении от оси вращения.

### Вопросы для повторения

1. Приведите примеры, иллюстрирующие неприменимость законов Ньютона в неинерциальных системах отсчета
2. Чему равны переносная и кориолисова силы инерции? В чем отличаются эти силы от сил взаимодействия между телами?
3. Выведите уравнение движения материальной точки относительно неинерциальной системы отсчета.
4. Почему в неинерциальных системах отсчета не выполняются законы сохранения?
5. Чему равна и как направлена центробежная сила инерции?
6. Перечислите известные Вам явления, обусловленные неинерциальностью земной системы отсчета. Дайте объяснения этих явлений.
7. Сформулируйте и поясните принцип эквивалентности.

### Примеры решения задач

**Задача 7.1.** Тело свободно падает с высоты 100 м на Землю. Определить отклонение тела к востоку под влиянием кориолисовой силы инерции, вызванной вращением Земли. Широта места падения  $45^\circ$ .

Д а н о

$$\begin{aligned} h &= 100 \text{ м,} \\ \omega &= 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с,} \\ \varphi &= 45^\circ. \end{aligned}$$


---

$s = ?$

Р е ш е н и е

В земной системе отсчета на свободно падающее тело действует кориолисова сила инерции:

$$I_K = -2m[\omega, v_r],$$

где  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли, а  $v_r$  — скорость движения тела относительно Земли. Кориолисова сила инерции во много раз меньше силы тяготения тела к Земле. Поэтому в первом приближении при определении  $I_K$  можно считать, что скорость  $v_r$  направлена вдоль радиуса Земли и численно равна  $gt$ , где  $g$  — ускорение свободного падения и  $t$  — продолжительность падения. Из рис. 7.8 видно, что сила  $I_K$  направлена перпендикулярно  $v_r$  с запада на восток. Численно она равна

$$I_K = 2m\omega gt \cos \varphi.$$

Эта сила сообщает телу ускорение  $a_K$ , направленное по касательной к поверхности Земли с запада на восток и численно равное:

$$a_K = 2\omega gt \cos \varphi.$$

Так как  $a_K = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$ , где  $v$  — численное значение составляющей скорости тела, касательной к поверхности Земли,  $s$  — смещение свободно падающего тела к востоку, то

$$v = \omega g t^2 \cos \varphi + C_1$$

и

$$s = \frac{1}{3} \omega g t^3 \cos \varphi + C_1 t + C_2.$$

В начале падения тела ( $t = 0$ )  $v = s = 0$ , поэтому постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  равны нулю и

$$s = \frac{1}{3} \omega g t^3 \cos \varphi.$$

Продолжительность свободного падения тела с высоты  $h$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

так что искомое отклонение тела к востоку

$$s = \frac{2}{3} \omega h \sqrt{\frac{2h}{g}} \cos \varphi.$$

Вычисления производим в Международной системе единиц (СИ); а) проверка размерности результата:

$$[s] = \frac{[\omega] \cdot [h]^{3/2}}{[g]^{1/2}} = \frac{T^{-1} \cdot L^{3/2}}{L^{1/2} \cdot T^{-1}} = L;$$

б) вычисления:

$$s = \frac{2}{3} 7,27 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \sqrt{\frac{2 \cdot 100}{9,81}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ м} = 1,55 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

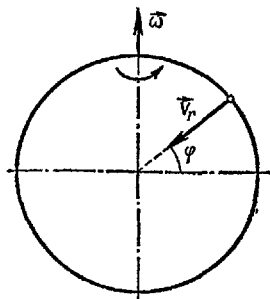


Рис. 7.8.