

Сила Кориолиса

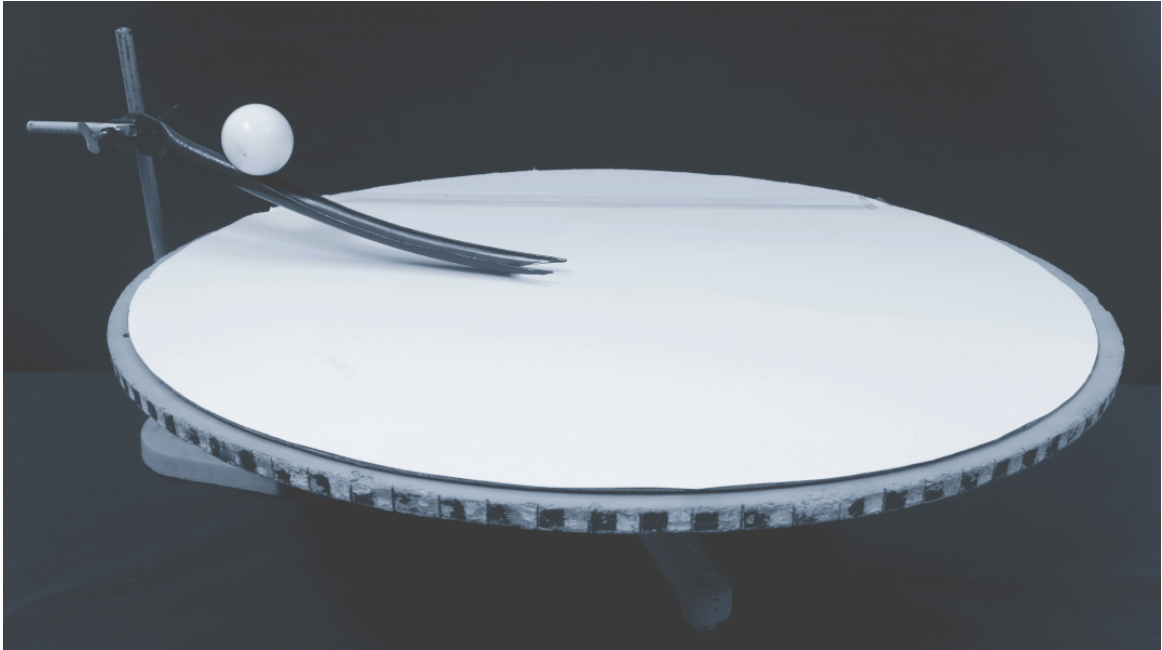


Рис. 1: Демонстрация действия силы Кориолиса на модели шара, движущегося во вращающейся системе отсчета

Оборудование:

1. Бильярдный шар, окрашенный чернилами
2. Наклонный желоб
3. Круглая платформа на вращающейся подставке
4. Электродвигатель с ременной передачей
5. Лабораторный трансформатор для регулирования скорости вращения платформы

Основные определения:

Система отсчета, связанная с земным шаром, строго говоря, неинерциальная (НИСО). Если сравнить решения уравнений движения для какого-либо конкретного тела, полученные в предположении, что система отсчета, связанная с Землей, инерциальная, и решения этих же уравнений с учетом сил инерции, можно обнаружить их расхождение. Сравнивая те и другие решения с данными опыта, можно также установить, является ли выбранная нами система инерциальной или же движется ускоренно. Такие проверки показали, что система координат, связанная с Землей, для большого класса механических задач может рассматриваться как ИСО.

Краткое описание:

Круглая платформа диаметром 100 см располагается на специальной вращающейся подставке. Над платформой устанавливается неподвижно небольшой наклонный желоб, с которого скатывается бильярдный шар (конец наклонного желоба находится над центром круга). Чтобы наблюдать траекторию шара его поверхность покрывается чернилами.

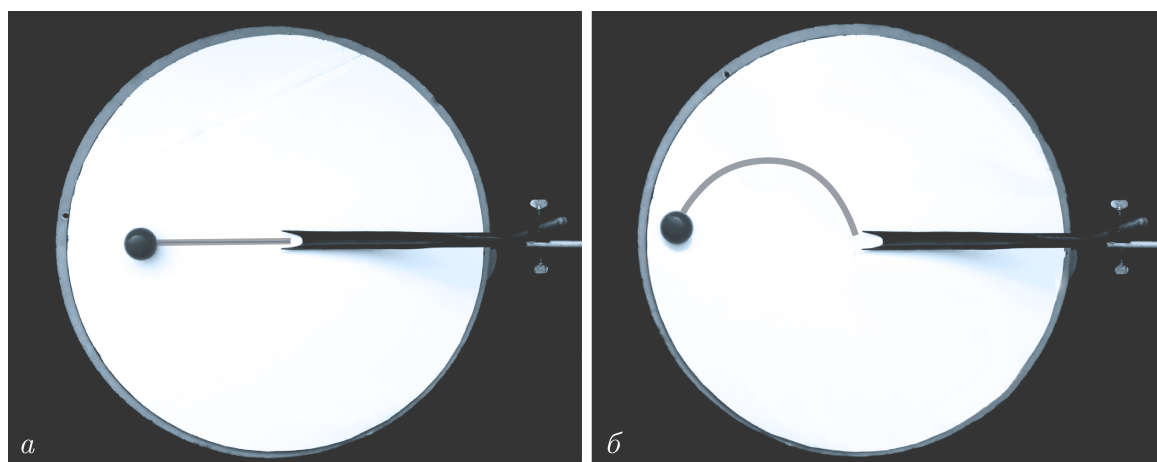


Рис. 2: *а* — в отсутствие вращения платформы ($\omega = 0$, платформа является инерциальной системой отсчета) шарик движется относительно стола по прямой линии, а вектор его скорости \mathbf{v} сохраняет направление; *б* — при вращении платформы на шарик начинает действовать кориолисова сила инерции, и вектор \mathbf{v} изменяет направление. След, оставленный шариком на бумаге, демонстрирует траекторию движения тела относительно неподвижной системы отсчета, связанной с землей, причем в о вращающейся системе отсчета (НИСО), движение шарика оставалось прямолинейным

Сначала шарик скатывают по неподвижной платформе: его траектория представляет собой прямую линию. При медленном равномерном вращении платформы шарик отклоняется от прямолинейного пути в сторону, противоположную направлению вращения круга. След, оставленный подкрашенным шаром, показывает, что траекторией движущегося во вращающейся системе отсчета тела является дуга.

При вращении круга против часовой стрелки, что соответствует движению Земли (вследствие суточного вращения) в северном полушарии, шарик отклоняется вправо. При вращении круга по часовой стрелке, что соответствует движению Земли в южном полушарии, шарик отклоняется влево.

Если запустить шар с периферии, то его траектория окажется в виде петли, подобно тому, какую траекторию описывает маятник Фуко над той же вращающейся платформой. Такой опыт демонстрирует действие кориолисовой силы инерции на тела, движущиеся в неинерциальной (вращающейся) системе отсчета.

Теория:

Во вращающейся системе отсчета на движущееся с начальной скоростью тело помимо центробежной силы инерции действует дополнительная сила инерции, называемая силой Кориолиса.

Пусть по платформе начинает двигаться шар массой m . При его движении от центра платформы вдоль радиуса трением можно пренебречь и считать скорость постоянной.

Шарик, начав скатываться из центра по неподвижно платформе (рис.3,а), через некоторое время окажется в точке А.

Если платформу раскрутить с угловой скоростью ω (рис.3,б), то к моменту достижения шариком края диска он окажется в точке В. При движении по платформе шар вместо прямой OA опишет дугу OB . При этом в неподвижной системе отсчета на шарик не будут действовать никакие силы, кроме силы тяжести и реакции опоры, и относительно инерциальной системы его движение будет оставаться равномерным $\mathbf{v} = \text{const}$.

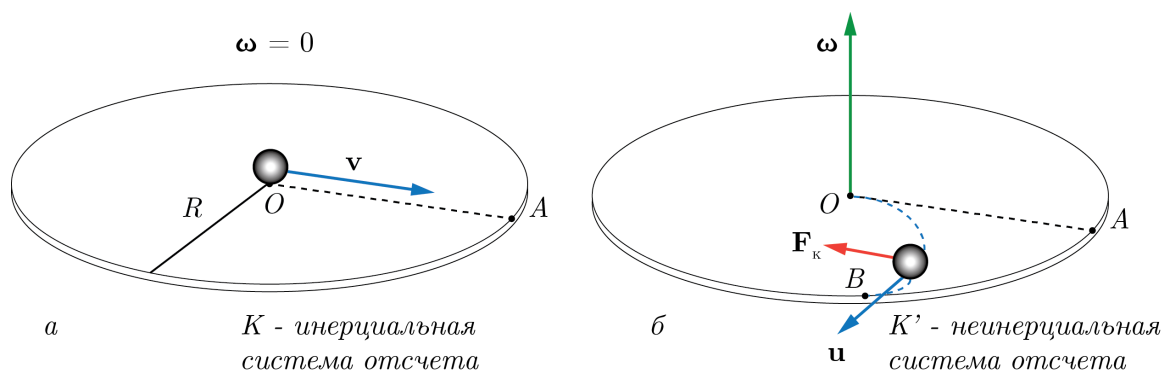


Рис. 3: Вектор скорости \mathbf{v} шарика во вращающейся системе отсчета под действием силы Кориолиса будет изменять свое направление. Вращение платформы приведет к тому, что шарик, достигнув края, окажется не в точке А, как это было бы в отсутствие вращения, а в точке В

Скорость шарика в системе отсчета, связанной с платформой, изменит направление и будет равна u . Изменение скорости в НИСО объясняется проявлением инерционных свойств, в частности, на за счет действия сил инерции вектор скорости изменяет направление. Такая сила, меняющая направление вектора скорости тела в НИСО, но не изменяющая его модуля, называется силой Кориолиса.

Найдем силу Кориолиса для частицы массой m , участвующей в движении во вращающейся с постоянной угловой скоростью ω системе отсчета K' . Движение частицы происходит в плоскости, перпендикулярной вектору ω . Скорость частицы в этой системе отсчета равна u . Относительно неподвижной (инерциальной) системы отсчета K частица под

действием сил инерции начнет двигаться по окружности, а ее линейная скорость относительно земли будет определяться следующим образом

$$v = u + \omega R, \quad (1)$$

где ω — угловая скорость вращающейся платформы, R — радиус окружности.

Для того, чтобы частица двигалась относительно неподвижной системы отсчета K по окружности со скоростью $v = u + \omega R$, на нее должна действовать направленная к центру окружности сила F (например, натяжение нити), причём величина этой силы равна

$$F = \frac{mv^2}{R} = \frac{m(u + \omega R)^2}{R} = \frac{mu^2}{R} + 2m\omega u + m\omega^2 R. \quad (2)$$

Во вращающейся системе отсчета K' частица приобретает нормальное ускорение

$$\alpha = \frac{u^2}{R}. \quad (3)$$

Из уравнения (2) получаем:

$$\frac{mu^2}{R} = F - 2m\omega u - m\omega^2 R. \quad (4)$$

В левой части уравнения находится произведение массы частицы на ее ускорение во вращающейся системе отсчета, поэтому в правой части должны быть записаны действующие на нее силы. Величина F в уравнении (4) является силой натяжения нити (в случае отвеса), которая одинакова как для инерциальной, так и для неинерциальной систем отсчета. Третье слагаемое, $-m\omega^2 R$, означает направленную по нормали центробежную силу инерции. Второе слагаемое, $-2m\omega u$, обозначает силу Кориолиса. В данном случае она также направлена к центру, но зависит от скорости частицы. Ее направление совпадает с движением штопора, ручка которого поворачивается от вектора скорости u к вектору угловой скорости ω .

В общем виде сила Кориолиса определяется векторным произведением

$$\mathbf{F}_K = 2m\mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega}. \quad (5)$$