

СИЛА КОРИОЛИСА. ЭФФЕКТЫ СИЛЫ КОРИОЛИСА

Злобина А.Д., студентка группы ВВ–201, Литвинова Э.В., ст. преп.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Рассмотрены причины появления и эффекты силы Кориолиса, а также проявление силы Кориолиса в природе.

Сила Кориолиса, эффекты силы Кориолиса, маятники.

Сила Кориолиса – одна из сил инерции, существующая в неинерциальной системе отсчёта из-за вращения и законов инерции, проявляющаяся при движении в направлении под углом к оси вращения. Названа по имени французского учёного Гюстава Гаспара Кориолиса, впервые её описавшего (рис. 1). Ускорение Кориолиса было получено Кориолисом в 1833 году, Гауссом в 1803 году и Эйлером в 1765 году.

Причина появления силы Кориолиса – в кориолисовом (поворотном) ускорении. В инерциальных системах отсчёта действует закон инерции, то есть, каждое тело стремится двигаться по прямой и с постоянной скоростью. Если рассмотреть движение тела, равномерное вдоль некоторого вращающегося радиуса и направленное от центра, то станет ясно, что чтобы оно осуществилось, требуется придавать телу ускорение, так как чем дальше от центра, тем должна быть больше касательная скорость вращения. Это значит, что с точки зрения вращающейся системы отсчёта, некая сила будет пытаться сместить тело с радиуса.

При вращении диска более далёкие от центра точки движутся с большей касательной скоростью, чем менее далёкие (группа чёрных стрелок вдоль радиуса). Переместить некоторое тело вдоль радиуса так, чтобы оно оставалось на радиусе (синяя стрелка из положения "А" в положение "Б") можно, увеличив скорость тела, то есть, придав ему ускорение (рис. 2). Если система отсчёта вращается вместе с диском, то видно, что тело "не хочет" оставаться на радиусе, а "пытается" уйти влево – это и есть сила Кориолиса.

Траектории шарика при движении по поверхности вращающейся тарелки в разных системах отсчёта (вверху – в инерциальной, внизу – в неинерциальной).

Для того чтобы тело двигалось с кориолисовым ускорением, необходимо приложение силы к телу, равной $F = ma$, где a – кориолисово ускорение. Соответственно, тело действует по третьему закону Ньютона с силой противоположной направленности

$$F_K = -ma.$$

Сила, которая действует со стороны тела, и будет называться силой Кориолиса. Не следует путать Кориолисову силу с другой силой инерции –



**Рис. 1. Гюстав Гаспар
КОРИОЛИС
Gaspard Gustave de Coriolis,
1792–1843.**

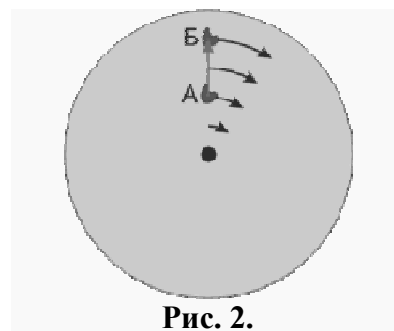


Рис. 2.

центробежной силой, которая направлена по радиусу вращающейся окружности.

Если вращение происходит по часовой стрелке, тодвигающееся от центра вращения тело будет стремиться сойти с радиуса влево. Если вращение происходит против часовой стрелки – то вправо.

Эффекты силы Кориолиса: лабораторные эксперименты

Маятник Фуко. Эксперимент, наглядно демонстрирующий вращение Земли, поставил в 1851 году французский физик Леон Фуко. Его смысл заключается в том, что плоскость колебаний математического маятника неизменна относительно инерциальной системы отсчета, в данном случае относительно неподвижных звезд. Таким образом, в системе отсчета, связанной с Землей, плоскость колебаний маятника должна поворачиваться. С точки зрения неинерциальной системы отсчета, связанной с Землей, плоскость колебаний маятника Фуко поворачивается под действием силы Кориолиса (рис. 3).

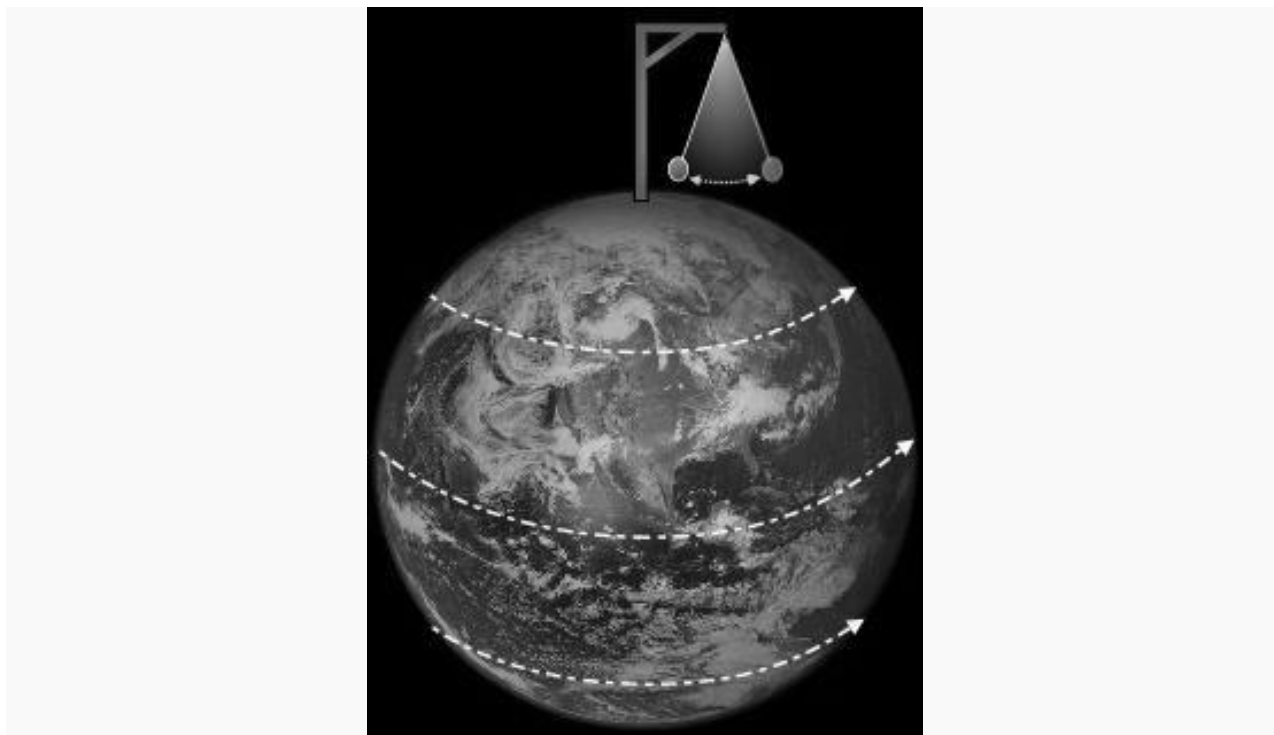


Рис. 3. Маятник Фуко на северном полюсе. Ось вращения Земли лежит в плоскости колебаний маятника

Наиболее отчетливо этот эффект должен быть выражен на полюсах, где период полного поворота плоскости маятника равен периоду вращения Земли вокруг оси (звёздным суткам). В общем случае, период обратно пропорционален синусу географической широты, на экваторе плоскость колебаний маятника неизменна.

В настоящее время маятник Фуко с успехом демонстрируется в ряде научных музеев и планетариев, в частности, в планетарии Санкт–Петербурга, планетарии Волгограда.

Существует ряд других опытов с маятниками, используемых для доказательства вращения Земли. Например, в опыте Браве (1851 г.) использовался конический маятник. Вращение Земли доказывалось тем, что периоды колебаний по и против часовой стрелки различались, поскольку сила Кориолиса в этих двух случаях имела разный знак. В 1853 г. Гаусс предложил использовать не математический маятник, как у Фуко, а физический, что позволило бы уменьшить размеры экспериментальной установки и увеличить точность эксперимента. Эту идею реализовал Камерлинг–Оннес в 1879 г.

Гироскоп – вращающееся тело со значительным моментом инерции сохраняет момент импульса, если нет сильных возмущений. Фуко, которому надоело объяснять, что происходит с маятником Фуко не на полюсе, разработал другую демонстрацию: подвешенный гироскоп сохранял ориентацию, а значит медленно поворачивался относительно наблюдателя.

Отклонение снарядов при орудийной стрельбе. Другим наблюдаемым проявлением силы Кориолиса является отклонение траекторий снарядов (в северном полушарии вправо, в южном – влево), выстреливаемых в горизонтальном направлении. С точки зрения

инерциальной системы отсчета, для снарядов, выстреливаемых вдоль меридиана, это связано с зависимостью линейной скорости вращения Земли от географической широты: при движении от экватора к полюсу снаряд сохраняет горизонтальную компоненту скорости неизменной, в то время как линейная скорость вращения точек земной поверхности уменьшается, что приводит к смещению снаряда от меридиана в сторону вращения Земли. Если выстрел был произведен параллельно экватору, то смещение снаряда от параллели связано с тем, что траектория снаряда лежит в одной плоскости с центром Земли, в то время как точки земной поверхности движутся в плоскости, перпендикулярной оси вращения Земли.

Отклонение свободно падающих тел от вертикали. Если скорость движения тела имеет большую вертикальную составляющую, сила Кориолиса направлена к востоку, что приводит к соответствующему отклонению траектории тела, свободно падающего (без начальной скорости) с высокой башни. При рассмотрении в инерциальной системе отсчета эффект объясняется тем, что вершина башни относительно центра Земли движется быстрее, чем основание, благодаря чему траектория тела оказывается узкой параболой и тело слегка опережает основание башни.

Этот эффект был предсказан Ньютоном в 1679 г. Ввиду сложности проведения соответствующих экспериментов эффект удалось подтвердить только в конце XVIII – первой половине XIX века (Гульельмини, 1791; Бенценберг, 1802; Райх, 1831).

Австрийский астроном Иоганн Хаген (1902 г.) осуществил эксперимент, являющийся модификацией этого опыта, где вместо свободно падающих грузов использовалась машина Атвуда. Это позволило снизить ускорение падения, что привело к уменьшению размеров экспериментальной установки и повышению точности измерений

Эффект Этвёша. На низких широтах сила Кориолиса при движении по земной поверхности направлена в вертикальном направлении и её действие приводит к увеличению или уменьшению ускорения свободного падения, в зависимости от того, движется ли тело на запад или восток. Этот эффект назван эффектом Этвёша в честь венгерского физика Лоранда Этвёша, экспериментально обнаружившего его в начале XX века.

Сила Кориолиса в природе.

Закон Бэра. Как впервые отметил петербургский академик Карл Бэр в 1857 году, реки размывают в северном полушарии правый берег (в южном полушарии – левый), который вследствие этого оказывается более крутым (закон Бэра). Объяснение эффекта аналогично объяснению отклонения снарядов при стрельбе в горизонтальном направлении: под действием силы Кориолиса вода сильнее ударяется в правый берег, что приводит к его размыванию, и, наоборот, отступает от левого берега.

Ветры: пассаты, циклоны, антициклоны. Отклонения ветров от вдоль-меридионального (которое наблюдалось бы на "неподвижной" Земле) происходит вследствие так называемого эффекта Кориолиса.

Эффект отклонения от прямолинейного движения описывается во вращающейся системе координат как действие на тело силы Кориолиса (максимальные отклонения в полярных районах). Движения атмосферы рассматриваются в системе координат, сцепленной с вращающейся планетой. В этой системе горизонтальные течения отклоняются благодаря силе Кориолиса в северном полушарии направо, в южном налево. Поэтому приповерхностные течения, направленные к экватору, в обоих полушариях отклоняются на запад.

С наличием силы Кориолиса, направленной в северном полушарии вправо и в южном влево, связаны также атмосферные явления: пассаты, циклоны и антициклоны.

Постоянно дующие ветры **пассаты** ("trade winds") сходятся в экваториальной зоне ("intertropical convergence zone"), ветры здесь слабые и моряки их называют штилевыми ("doldrums"). Явление пассатов вызывается неодинаковостью нагрева нижних слоёв земной атмосферы в приэкваториальной полосе и в средних широтах, приводящему к течению воздуха вдоль меридиана на юг или север в северном и южном полушариях, соответственно. Действие силы Кориолиса приводит к отклонению потоков воздуха: в

северном полушарии – в сторону северо-востока (северо-восточный пассат), в южном полушарии – на юго-восток (юго-восточный пассат).

Но из-за сезонного смещения термального экватора эта схема нарушается, вызывая, например такое явление, как **муссоны**.

Циклоном называется атмосферный вихрь с пониженным давлением воздуха в центре (рис. 4). Массы воздуха, стремясь к центру циклона, под действием силы Кориолиса закручиваются против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке в южном. Аналогично, в антициклоне, где в центре имеется максимум давления, наличие силы Кориолиса приводит к вихревому движению по часовой стрелке в северном полушарии и против часовой стрелки в южном. В стационарном состоянии направление движения ветра в циклоне или антициклоне таково, что сила Кориолиса уравнивает градиент давления между центром и периферией вихря (геострофический ветер).



Рис. 4. Циклон над юго-восточным побережьем Исландии (вид из космоса)

ВЫВОДЫ

Во вращающейся системе отсчета (например, на поверхности Земли) наблюдателю кажется, что тела движутся по изогнутой траектории. Иногда этот эффект объясняют действием некой фиктивной силы — силы Кориолиса.

Если бы рельсы были бы идеальными, то при движении железнодорожных составов с севера на юг и с юга на север, под воздействием силы Кориолиса один рельс изнашивался бы сильнее, чем второй. В северном полушарии больше изнашивается правый, а в южном левый.

Силу Кориолиса необходимо учитывать при рассмотрении планетарных движений воды в океане. Она является причиной возникновения гироскопических волн.

При идеальных условиях сила Кориолиса определяет направление закручивания воды, например, при сливе в раковине. Однако идеальные условия трудно достижимы. Поэтому феномен "обратного закручивания воды при стоке" является скорее околонуточной шуткой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сила Кориолиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Суточное вращение Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
3. Эффект Кориолиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elementy.ru>.
4. Эффект Кориолиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://students.russianplanet.ru/geography/atmosphere/12.htm>