«Врожденная сила материи»

С тех пор как у водителей общественного транспорта появился микрофон, пассажиры порой слышат полезные напоминания вроде такого: «Товарищи пассажиры! Проходите в середину автобуса сами, не вынуждайте водителя резко тормозить!» И пассажиры, до этого толпившиеся у входа, начинают проходить, ибо ясно представляют себе последствия резкого торможения — сами пассажиры и плохо укрепленный багаж начнут принудительно двигаться внутри автобуса вперед иногда с нежелательными последствиями.

Спрашивается, что является причиной этого движения? Под влиянием авторитета Ньютона, утверждавшего, что движение может вызываться только силами, очень хочется ответить — силы! Но какие это силы? Ведь физические (Ньютоновы) силы торможением или ускорением поезда или автобуса не порождаются. Значит, это должны быть не физические силы, а силы какой-то совершенно иной природы. В механике этим силам дали специальное название — силы инерции и с успехом начали использовать в расчетах механизмов и машин, всегда получая верные, подтверждаемые практикой результаты. Однако тот факт, что силы инерции — силы не физические, что любое движение тел может быть объяснено без их введения, дает основание утверждать, что сил инерции вообще в природе не существует, они фиктивны, порождены не природой, а мышлением ученых.

Однако использование этой категории сил в большинстве случаев значительно упрощает решение задач механики. Вот что пишет, например, о силах инерции академик А. Ю. Ишлинский: «При торможении железнодорожной платформы плохо укрепленный предмет на-

чинает движение по отношению к ней не потому, что на него начинает действовать сила инерции переносного движения. С точки зрения классической механики, он просто стремится продолжать то же движение, что и до торможения, удерживаемый в какой-то степени силами, развиваемыми креплением к платформе. Однако первая трактовка нагляднее. Надо лишь точно оговорить, что платформа принимается условно за неподвижную, и вследствие этого надлежит ввести как бы физические («квазиньютоновы») силы, равные переносным силам инерции. И тогда все становится ясным и верным».

Итак, первая трактовка: силы инерции действуют и вызывают относительное движение тел нагляднее, а получаемые с ее помощью результаты — ясные и верные. Поскольку доступность и наглядность изложния имеют для нас решающее значение, то этой трактовки сил инерции мы будем придерживаться и в дальнейшем. Вспомним еще, что сила инерции равна произведению массы точки (или тела) на ее (или его) ускорение, направлена в сторону, противоположную ускорению, и приложена к соприкасающимся точкам (телам).

А теперь рассмотрим один из самых сложных случаев движения и найдем возникающие при этом силы инерции. Предположим, что материальное тело участвует сразу в двух движениях, одно из которых — переносное — должно быть обязательно круговым, а другое — относительное — может быть либо круговым, либо прямолинейным. Примеров такого движения в природе и технике много: перемещение по поверхности вращающейся Земли пешехода, автомобиля, корабля, движение точек колеса какого-либо экипажа при разворотах последнего и наконец движение волчков и гироскопов.

В механике, как и в других науках, при изучении сложных явлений сами явления заменяют их упрощенными моделями. Представим себе артиста, шагающего по ковровой дорожке, проложенной по радиусу вращающейся сцены. Механическая модель движения артиста (рис. 1): стержень с пазом (ковровая дорожка), который может вращаться вокруг оси O, перпендикулярной плоскости рисунка, с угловой скоростью $\omega_п$ (переносная угловая скорость сцены). Вдоль паза перемещается кубик K (артист), имеющий массу m. Поскольку движение сложное, а пояснить его нужно просто и наглядно, то нам следует усилить арсенал наглядных средств и ввести в

рассмотрение векторы.

Силы, ускорения, скорости и зависящие от них величины (количество движения, угловая скорость, момент силы, кинетический момент и т. д.) характеризуются не только величиной, но и направлением. Мы получим полную, ясную и предельно лаконичную информацию о силе, ускорении, скорости и т. д., если изобразим их стрелками. Длина стрелки (в определенном масштабе) соответствует величине, а направление стрелки — направлению силы, ускорения скорости. Вот эти стрелки и называются векторами. С изображением векторами характеристик прямолинейного движения все достаточно просто и ясно. Но как изобразить векторами характеристики кругового движения? Ученые договорились, что вектор, изображающий какую-либо характеристику кругового движения, составляет прямой угол с плоскостью, в которой это круговое движение происходит.

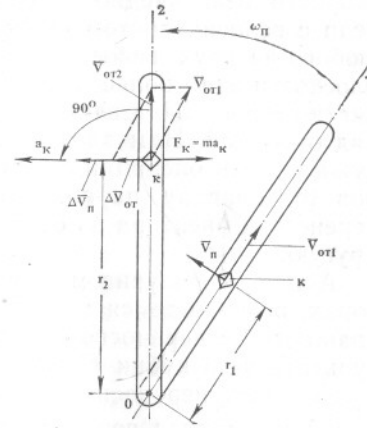

Рис. 1
Схема, поясняющая возникновение кориолисова ускорения

Для примера обратимся к велосипедному колесу и найдем вектор его угловой скорости. Но прежде нужно найти плоскость, в которой происходит круговое движение (вращение) колеса. Очевидно, такой плоскостью будет плоскость спиц колеса. Помните, у Гоголя: «Спицы в колесах смешались в один гладкий круг...» Теперь остается вообразить прямую линию, которая составляла бы прямой угол с этим «гладким кругом». В данном простейшем случае это будет ось вращения колеса. Итак, вектор угловой скорости направлен по оси вращения колеса, но в какую сторону? Ведь у оси два конца... И по этому вопросу ученые пришли к соглашению. Решили: вектор всегда направлен так, чтобы, смотря с его конца, то есть со стороны острия стрелки, видеть круговое движение происходящим против хода часовой стрелки. Вооружившись этим правилом, находим вектор угловой

скорости велосипедного колеса: при движении велосипеда с велосипедистом вперед вектор угловой скорости любого из двух велосипедных колес перпендикулярен плоскости этих колес и направлен в левую от велосипедиста сторону. Над векторами можно производить целый ряд операций. Нам для дальнейшего изложения будут нужны лишь операции сложения и разложения векторов (по правилу параллелограмма), а также операция перенесения вектора из одной точки движущегося тела в другую.

А теперь, получив минимальную информацию о векторах, возвращаемся к нашей модели. Итак, стержень вращается с переносной угловой скоростью $\omega_{п}$, в результате чего кубик K, вращаясь вместе со стержнем, приобретает переносную линейную скорость, вектор которой $\overline{V}_{п}$ всегда перпендикулярен радиусу вращения r. Кроме этого, сам кубик K движется по пазу относительно стержня с постоянной по величине относительной линейной скоростью, вектор которой $\overline{V}_{от}$ направлен всегда вдоль радиуса вращения r. Физическими силами, вызывающими переносное и относительное движения кубика, пока интересоваться не будем, наша цель другая — найти силы инерции, с которыми кубик действует на стенки паза.

Участвуя в переносном и относительном движениях, кубик движется непрерывно. Мы рассмотрим два мгновения: начальное, обозначенное цифрой 1, и какое-то следующее, обозначенное цифрой 2. Что же изменилось за время Δt, прошедшее между этими мгновениями? Внимательное изучение рисунка показывает, что в результате переносного вращения изменились направление вектора относительной скорости (было $\overline{V}_{от1}$, стало $\overline{V}_{от2}$) и величина линейной переносной скорости (было $V_{п1} = \omega r_1$, стало $V_{п2} = \omega r_2$; r_2 стал больше, чем r_1, из-за относительного движения кубика).

Итак, за время Δt изменились и переносная и относительная скорости кубика, а это, как мы уже знаем, является верным признаком того, что кубик движется с ускорением.

Простые геометрические построения, приведенные на рис. *1* (позиция 2), показывают, что векторы изменений и относительной, $\Delta\overline{V}_{от}$, и переносной, $\Delta\overline{V}_{п}$, линейных скоростей кубика направлены по линии, перпендикуляр-

ной радиусу вращения r_2. Стало быть, и линейное ускорение кубика $a_К$, порожденное взаимным влиянием переносного движения на относительное и относительного на переносное, направлено вдоль этой линии. Поскольку кубик движется с ускорением $a_К$, то он создает силу инерции $F_К = ma_К$, приложенную к стенке паза стержня.

Упоминания об ускорении $a_К$, порождаемом взаимным влиянием переносного и относительного движений, имеются в трудах Л. Эйлера и «короля математиков» К. Гаусса, однако ускорение это было названо **кориолисовым** в честь французского ученого-механика Г. Кориолиса (1792—1843), который начал практически учитывать его при расчетах механизмов и машин.

Направление вектора Кориолисова ускорения определяется по простому правилу: нужно вектор относительной линейной скорости $\overline{V}_{ОТ}$ повернуть в сторону переносного вращения на прямой угол. Мысленно проделав эту операцию на рис. 1, получаем направление вектора Кориолисова ускорения $a_К$.

Кориолисово ускорение и соответствующие ему Кориолисовы силы инерции лежат в основе удивительных свойств вращающихся тел и многих явлений природы.