

ГЛАВА IV

ДИНАМИКА СИСТЕМЫ

§ 21. Механическая система. Внутренние и внешние силы. Центр масс

Совокупность материальных точек (или тел, которые по условию задачи оказалось возможным рассматривать как материальные точки) называют *механической системой*, или *системой материальных точек*.

На материальные точки или тела механической системы действуют силы двоякого происхождения. Во-первых, всякое тело взаимодействует с другими телами системы (вагон — с другими вагонами, Солнце — с планетами, части машины — между собой); силы такого взаимодействия называют *внутренними* силами системы. Во-вторых, тела (материальные точки) механической системы испытывают силы воздействия со стороны посторонних, не входящих в данную систему тел; такие силы называют *внешними*. Для поезда таковыми являются: сила тяжести, «ведущее трение», тормозящее трение, сопротивление воздуха.

Понятия «внутренние» и «внешние» силы относительны. Так, силы взаимодействия между атомами, образующими молекулу, являются внешними по отношению к каждому из этих атомов как к отдельной системе, но эти силы становятся внутренними, когда всю молекулу мы рассматриваем как единую систему.

По третьему закону, если какое-либо тело A действует на тело B с некоторой силой, то и тело B действует на тело A с равной, но обратно направленной силой; поэтому *все* внутренние силы механической системы попарно равны и противоположны. В поезде сила, с которой каждый вагон тянет следующий, равна силе, с которой тот его задерживает. Если мы сложим геометрически все внутренние силы, приложенные ко всем телам какой-либо системы, то силы взаимодействия каждых двух ее тел дадут в сумме нуль, а потому *геометрическая сумма внутренних сил всякой механической системы равна нулю*.

Геометрически суммируя внешние силы, действующие на какую-либо механическую систему, мы не должны включать в эту сумму силы противодействия, так как они приложены к телам, не входя-

щим в состав системы. Поэтому сумма действующих на систему внешних сил в общем случае не равна нулю.

В § 12 уже была речь о векторе количества движения тела. *Под количеством движения механической системы понимают геометрическую сумму количеств движения всех входящих в систему тел.*

Возможен случай, когда все тела системы находятся в движении, но общее количество движения системы равно нулю. Примером такого рода служит вращение маховика вокруг неподвижной оси (рис. 30); любые две частицы маховика, симметрично расположенные относительно оси вращения, движутся в противоположные стороны, и поэтому геометрическая сумма их количеств движения равна нулю; если вся масса маховика распределена симметрично относительно оси вращения, то, геометрически складывая количества движения всех частиц маховика, мы в итоге получим нуль. Физически это означает, что маховик как целое не перемещается; если бы он катился наподобие колеса, количество его движения не было бы равно нулю.

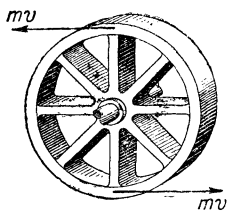


Рис. 30. Общее количество движения при вращении маховика вокруг неподвижной оси равно нулю.

Движение каждого отдельного тела механической системы определяется совокупностью всех действующих на него сил, как внешних, так и внутренних. Но на движение системы в целом влияют, как мы увидим далее, только внешние силы. Что следует понимать под «движением системы в целом»? Под этим понимают перемещение «центра масс» системы.

Из начального курса физики известно понятие о *центре тяжести* тела. Когда говорят, что центр тяжести шара находится в его геометрическом центре или что центр тяжести треугольника лежит в точке пересечения его медиан, то этим хотят выразить ту мысль, что при любом положении шара или треугольной пластинки относительно земной поверхности равнодействующая весов всех частей тела (вес тела) действует по вертикальной прямой, неизменно проходящей в случае шара через его центр, а в случае треугольника — через точку пересечения медиан.

Чтобы какое-либо тело при любом положении пребывало в равновесии, силу, уравновешивающую вес, нужно приложить к центру тяжести тела.

Понятие центра тяжести можно обобщить на совокупность нескольких тел (на систему тел). Такое обобщение вполне естественно: достаточно вообразить себе все данные тела соединенными между собой твердыми, но легкими (как бы невесомыми) стержнями; подобным образом соединенные тела составят одно тело, центр тяжести которого и называют их общим центром тяжести (*центром тяжести системы*). Центр тяжести двух материальных точек располо-

жен на прямой, их соединяющей, и делит расстояние между ними обратно пропорционально их массам. Под *центром тяжести деформируемой массы* (например, жидкости) мы понимаем центр тяжести того твердого тела, которое она образовала бы, мгновенно затвердев в данном положении.

Понятие центра тяжести связано с весом, а вес зависит от положения тела по отношению к земной поверхности. Неотъемлемым же свойством всякого тела является его масса. Поэтому более общим и более важным является понятие о центре масс.

Центром масс двух материальных точек, независимо от того, находятся ли они под действием силы тяжести или нет, называют точку, *делящую расстояние между ними обратно пропорционально их массам*.

Центр масс трех материальных точек делит расстояние между центром масс каких-либо двух из них и третьей материальной точкой обратно пропорционально отношению суммы первых двух масс к третьей массе (рис. 31). Таков же переход от трех материальных точек к четырем и вообще к любому их числу. Следовательно, центр тяжести какого-либо тела, находящегося на земной поверхности, является в то же время центром массы этого тела.

Из самого определения следует, что центр масс каких-либо материальных точек расположен где-то между ними и никак не может оказаться вне сферы, заключающей внутри себя все данные массы.

Название «центр масс» может быть оправдано следующими соображениями. Вообразим, что между всеми частицами тел, образующих систему, действуют бесконечно возрастающие с течением времени силы притяжения. По третьему закону, силы взаимодействия, приложенные к двум материальным точкам, численно равны. Сближаясь, если ничто тому не препятствует, под действием этих сил обе материальные точки будут двигаться согласно второму закону с ускорениями, обратно пропорциональными их массам, и так же будут относиться между собой при отсутствии начальной скорости пройденные ими до встречи пути, т. е. материальные точки сойдутся в их центре масс. Присоединяя к двум материальным точкам третью, к трем — четвертую и т. д., получим тот же результат для любой механической системы. Таким образом, *центр масс механической системы есть та точка, вокруг которой собралась бы в виде чрезвычайно плотного сферического тела вся масса системы, если бы между материальными точками системы действовали бесконечно возрастающие с течением времени силы притяжения*.

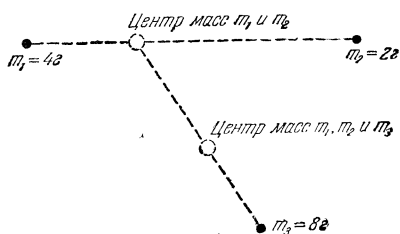


Рис. 31. Пример нахождения центра масс трех материальных точек.