

Немного об инерции

Геннадий Ивченков, к.т.н.

kashey@kwic.com

Можно различить два вида инерции: механическую и электродинамическую (принцип Ленца). В данной заметке рассмотрим некоторые особенности механической инерции:

В случае механической инерции, при взаимодействии двух тел через удар или через реактивную струю, одна сила направлена на разгоняемое тело, а другая - на разгоняющее тело. Эти силы равны, но приложены к разным телам. Кроме того, на каждый бесконечно малый элемент тела в гравитационном поле одновременно действует сила гравитации и сила инерции. В результате внутри тела все скомпенсировано и отсутствуют внутренние силы (деформации тела). В то же время, в теле, ускоренном взаимодействием с другим телом или разгоняемым реактивной струей (то есть взаимодействием с элементами струи), такая компенсация отсутствует и в материале тела присутствуют напряжения - следствие внутренних сил инерции, действующих на каждый бесконечно малый элемент тела, формально напоминающее гравитацию. Например, в разгоняющейся ракете присутствует перегрузка. Она действует только в границах тела, не распространяется снаружи и, вроде бы, никак не действует на разгон тела. А внешняя сила, вызывающая ускорение, приложена фактически к внешней оболочке тела - площади (точке) взаимодействия разгоняющей силы с данным телом. При прекращении действия этой силы тело начинает лететь равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью (при отсутствии потенциального поля). Например, если из ускоряющейся ракеты вывалится космонавт, то он продолжит лететь с набранной скоростью, но дальнейшего разгона не будет потому, что к нему уже не будет приложена ускоряющая сила (ракета от него улетит).

Но здесь присутствует странный парадокс (скорее софизм, вроде «черепахи и Ахиллеса»): предположим, что в пушке в стволе разгоняется снаряд. На его днище давят пороховые газы с силой $F = PS$, где P - давление, а S - площадь днища. В снаряде находится некая жидкость, например, вода (это для наглядности). Сила инерции создает ускорение (перегрузку) a в снаряде, а вода создает давление на днище, противоположное давлению газов (снаряд можно заменить на движущуюся мембрану). Получается, что силы, действующие на днище (мембрану), направлены в противоположные стороны и, если они равны, то снаряд не только не ускорится, но и вообще не полетит. Сила приложенная к днищу: $F = PS$, сила

инерции: $F_{in} = ma = \rho Sha$, где $a = \frac{F}{m} = \frac{PS}{\rho h S}$, в результате: $\frac{F_{art}}{F_{in}} = \frac{PS}{ma} = \frac{S \rho h}{m} = \frac{S \rho h}{\rho h S} = 1$. То

есть, эти силы приложены к одной и той же мембране в противоположном направлении и они тождественно равны. То же можно вывести для болванки, вылетающей из пушки, но пример с водой нагляднее. Тогда формально получается, что снаряд не может разгоняться и продолжает лететь с набранной до этого скоростью. Вообще-то, приведенный вывод является софизмом, чем-то вроде апории Зенона о черепахе и Ахиллесе, так как практика показывает, что снаряд, все-таки, вылетает (а Ахиллес, все-таки, догоняет черепаху).

Тогда формально получается, что снаряд не может разгоняться (причем, при любом ускорении) и продолжит лететь с набранной до этого скоростью. То есть, согласно приведенному выводу, снаряд как бы не может ускориться потому, что, как только появляется ускорение, то силы давления на днище сразу компенсируются и дальнейшего разгона не происходит.

Тут можно предложить некое решение этого софизма: **Сила давления пороховых газов присутствует всегда, в то время, как инерция появляется только при появлении**

ускорения. Тогда давление изначально создает ускорение снаряда. Но, как только оно появляется, появляется сила инерции обнуляющая ускорение, но снаряд уже немного разогнан за время dt . Далее получается, что, так как ускорение становится равным нулю, то инерции опять нет и снаряд получает ускорение, а инерция его снова обнуляет. Но снаряд уже получил некий разгон $dV = a dt/2$. Но это уже тот самый «Ахиллес с черепахой». Причем, промежуток времени dt , за который инерция реагирует на ускорение, не должен быть равным нулю, то есть реакция инерции не должна быть мгновенной. Формально такая задержка может быть результатом скорости распространения звуковой волны в теле (в воде). Так как эта величина не является фундаментальной (эта скорость разная для разных веществ), то это предположение, по видимому, является неправильным.

Так или иначе, но практика показывает, что снаряд, все-таки, разгоняется и вылетает. Тут что-то не так, то ли с выводом, то ли с пониманием инерции.

Другим примером является движение спутника по орбите. Как было сказано выше, на спутник одновременно действуют центростремительная сила (гравитация) и центробежная сила, вызванная инерцией. Обе эти силы противоположно направлены и действуют на каждый бесконечно малый элемент данного тела. Вот тут-то и получается полная компенсация и тело не разгоняется, а продолжает движение по траектории. Что-то подобное формально происходит с упомянутым снарядом - на каждый элемент площади мембраны одновременно и противоположно направленными действуют две равные силы. Но снаряд, все-таки, ускоряется....