

ТРАЕКТОРИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ

Шанин А.А.

Научный руководитель – доц. Калинин В.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, просп. Науки, 14, каф. физики, тел (057)240-93-45)
e-mail: fizika@khture.kharkov.ua

In the world of sports, body rotation factor is very important. For example, trajectory of a soccer ball from corner to goal; tennis ball twisted by a racket; ping-pong ball in the attacking hits is created by adjustable imposing of two movements: translational and rotational.

Modern sports equipment and machines for feeding and rolling balls significantly increase efficiency of using time and effort required to achieve mastery. But very few athletes imagine physics of motion of the "cutting" ball, and even more so laws and equations of motion. Therefore, introduction of computer mathematical modeling is a new step in the development of sports.

Данная работа была инициирована фрагментом видео из интернета, доступного по ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=05zF0sBwHe8>. На горизонтально расположенный отрезок пластиковой трубы наматывается с натяжением резиновый жгут, а затем это тело вращения выпускается как из рогатки, из-за чего далее оно планирует по необычной траектории. Если бы тело двигалось в вакууме, то земное притяжение обеспечило бы ему параболическую траекторию, заданную вектором скорости \vec{v}_t . Но в неподвижной газовой среде, например, в воздухе, на поступательно перемещающееся тело вращения действует аэродинамическая сила, которая приводит к эффекту Магнуса, что и придает траектории особый вид. Эта сила определяется формулой Жуковского для единицы длины трубы:

$$F = \rho v \Gamma \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, v – скорость относительного перемещения тела и среды, $\Gamma = \oint_1 v * \cos \Theta * dl$ – циркуляция вектора относительной скорости молекул среды по замкнутому пути \mathbf{l} вокруг вращающегося тела, Θ – угол относительно радиальной оси с началом в центре трубы.

Пренебрегая сопротивлением движения и считая угловую скорость вращения трубы γ неизменной, можно составить уравнение динамики для двумерного перемещения тела. В такой постановке задача упрощается и становится чисто кинематической, когда одно из двух видов движения трубки – плоское поступательное движение материальной точки, а второе обусловлено вращением тела, называемое эффектом Магнуса. Направле-

ние силы Жуковского всегда перпендикулярно вектору скорости \bar{v}_t направленного движения тела, а, значит, и аэродинамическая добавка \bar{v}_t^* от эффекта Магнуса тоже перпендикулярна \bar{v}_t . Посчитаем результирующий вектор скорости тела:

$$\bar{V}_t = \bar{v}_t + \bar{v}_t^* \quad (2)$$

где $|\bar{v}_t^*| = k|\bar{v}_t|$, а k – параметр, который показывает степень обусловленности силы Магнуса и связывает оба движения. Подбирается путем компьютерного моделирования. Исходя из данной динамики можно построить траекторию движения тела вращения.

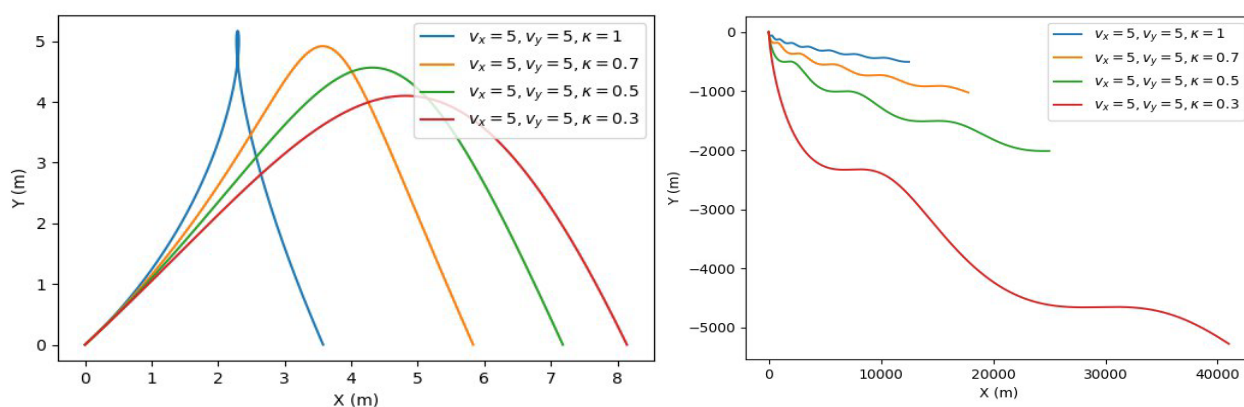


Рисунок 2 – график зависимости траектории от различных значений k

Все траектории созданы телами, выпущенными под углом в 45^0 , а на втором графике тела летели в течение 50 секунд, к примеру, пущенными со скалы. На данных графиках мы видим, что чем сильнее закручен объект, тем средняя скорость его будет меньше, а тело будет падать медленнее. Оно и понятно, сила Магнуса постоянно заставляет тело менять вектор скорости и, чем она сильнее, тем менее значимая начальная скорость тела.

С помощью данного моделирования можно рассчитывать то, как полетит тело вращения. Что поможет визуализировать многие моменты, связанные с этим. А также, на основании того, как полетит тело, подбирать оптимальные параметры для машин, с помощью которых тренируются спортсмены.

Список использованной литературы

1. С.М. Горлин «Экспериментальная аэромеханика»
2. Н.Я. Фабрикант, «Аэродинамика»