

Найденное решение позволяет получить функциональную матрицу поворота (1.4.4) и выполнить анимацию свободного вращения твердого тела. На рис. 35 приведены кадры анимации «кувырка» гайки-барашка.

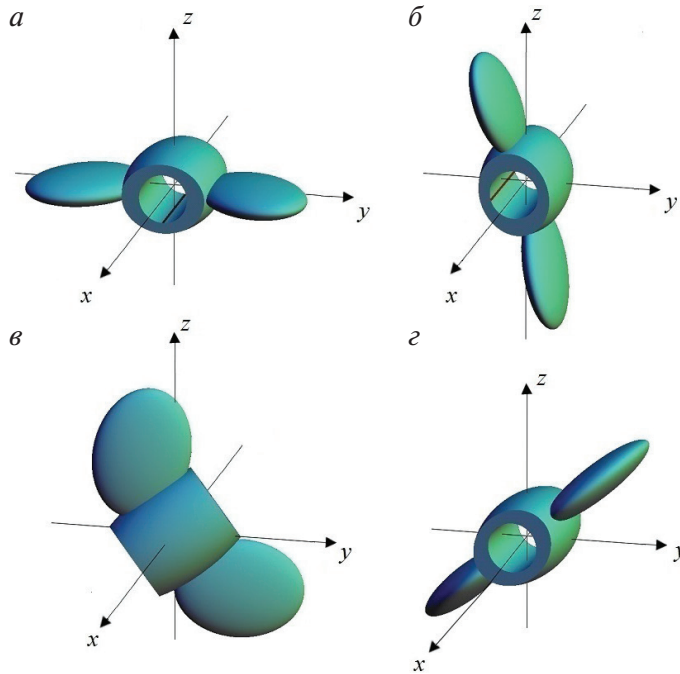


Рис. 35. Кадры анимации «кувырка», демонстрирующего эффект Джанибекова в моменты времени: (а)  $t_1 = 0$  с; (б)  $t_2 = 5$  с; (в)  $t_3 = 15$  с; (г)  $t_4 = 20$  с  
[URL: [https://youtu.be/\\_Qd6JLkfTGs](https://youtu.be/_Qd6JLkfTGs)]

Классическая механика описывает это движение как неустойчивое возмущенное движение. Начальным возмущением в нашем примере является наличие очень малой составляющей начальной угловой скорости  $q(0) = 1 \cdot 10^{-3}$  рад/с.

Интерес представляет рассмотрение критического случая в задаче интегрирования дифференциальных уравнений Эйлера, когда  $m^2 = 2hI_y$  ( $m$  — кинетический момент тела относительно центра масс;  $h$  — его кинетическая энергия;  $I_y$  — промежуточный момент инерции). Решение в таком случае находится аналитически в терминах гиперболических функций. Несмотря на многовековую историю данной задачи, российскому ученому С. Ф. Адлай в 2017 г. удалось обнаружить новое удивительное свойство этого решения. Оказывает-

ся, существует фиксированная в твердом теле ось (ось Галуа), располагающаяся ортогонально оси с промежуточным моментом инерции, которая при движении твердого тела вращается равномерно независимо от того, свертывается ли тело «кувырок» или вращается перманентно. [URL: <https://www.youtube.com/watch?v=e9wGPh-iiRw>] [URL: [http://cyclowiki.org/wiki/Ось\\_Галуа](http://cyclowiki.org/wiki/Ось_Галуа) ].

### Варианты задания к расчетной работе

Оценить время кувырка гайки Джанибекова при следующих значениях ее начальной угловой скорости. Осевые моменты инерции гайки:

$$I_x = 7 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, I_y = 2 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, I_z = 8 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

| Вариант | $p(0)$ , рад/с | $q(0)$ , рад/с    | $r(0)$ |
|---------|----------------|-------------------|--------|
| 1       | 2              | $1 \cdot 10^{-3}$ | 0      |
| 2       | 3              | $1 \cdot 10^{-3}$ | 0      |
| 3       | 4              | $1 \cdot 10^{-3}$ | 0      |
| 4       | 5              | $1 \cdot 10^{-3}$ | 0      |
| 5       | 6              | $1 \cdot 10^{-3}$ | 0      |