

ПРЕЦЕССИЯ

Авторы: В. А. Самсонов, В. Е. Жаров

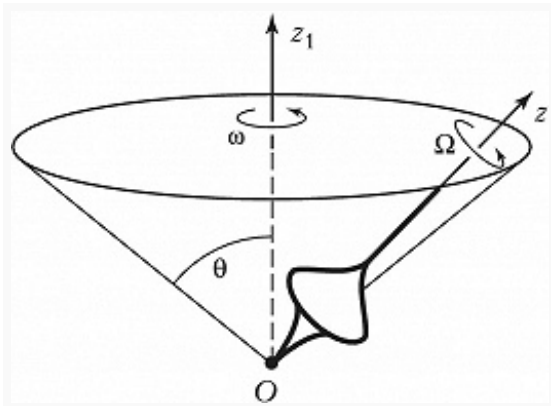


Рис. 1. Прецессия гироскопа.

ПРЕЦЕССИЯ (позднелатинское *praecessio* – движение вперед, от лат. *praecedo* – идти вперед, предшествовать), одна из составляющих вращательного движения твёрдого тела (наряду с собств. вращением и [нутацией](#)). Представляет собой вращение оси Oz (оси собств. вращения тела) вокруг оси Oz_1 , сохраняющей свою ориентацию в пространстве (рис. 1). При этом угловая скорость

собств. вращения

Ω и угловая скорость Π .

ω отличны от нуля, угол между осями

Oz и

Oz_1 (т. н. угол нутации

θ) остаётся постоянным [

$\theta(t) \equiv \text{const} \neq 0$], а ось

Oz описывает вокруг оси

Oz_1 прямой круговой конус. Если постоянны также величины

Ω и

ω , то Π называется регулярной; в этом случае [аксоиды](#) также представляют собой круговые конусы.

Π наблюдается, напр., при некоторых вращениях [гироскопа](#). Если момент всех приложенных к нему сил относительно неподвижной точки

O равен нулю, то при произвольных начальных условиях движения вектор кинетич. момента

\mathbf{G} тела постоянен, а ось симметрии

Oz тела в начале движения может не совпадать с вектором

\mathbf{G} . В этом случае ось

Oz совершает вращение вокруг неподвижного вектора

\mathbf{G} , с которым связана неподвижная ось

Oz_1 , т. е. гироскоп совершает регулярную П. Величины

Ω и

ω связаны соотношением

$\omega \cdot (A - C) \cdot \cos\theta = C\Omega$, где

A и

C соответственно экваториальный и осевой моменты инерции тела, причём

$A \neq C$ и

$\cos\theta \neq 0$. Для гироскопа, совершающего собств. вращение с большой угловой скоростью

Ω , П. называется быстрой, т. к. при

$\cos\theta \neq 0$ величина

ω имеет тот же порядок, что и

Ω . При

$\theta = \pi/2$ П. переходит в простое вращение тела вокруг вектора

\mathbf{G} с угловой скоростью

ω .

Если сила тяжести, приложенная к симметричному телу (напр., волчку) в точке, лежащей на оси симметрии, создаёт момент относительно точки

O , то тело при спец. начальных условиях движения может совершать регулярную П., в которой его ось симметрии вращается вокруг вертикали с угловой скоростью

ω . При вращении волчка, как правило, наблюдается движение, близкое к медленной регулярной П., т. к.

$\omega \approx Pa/C\Omega$, где

P – вес тела,

a – расстояние между точкой

O и центром тяжести тела. В этом случае вектор кинетич. момента

G тела также совершает вращение вокруг вертикальной оси

Oz_1 с угловой скоростью

ω . Однако в реальности начальные условия, как правило, отличаются от вышеупомянутых, поэтому чаще всего наблюдается т. н. псевдорегулярная П.:

медленный поворот вектора

G сочетается с быстрой П., при которой ось

Oz тела вращается вокруг вектора

G. В этом движении изменяется угол

θ , т. е. происходит нутация.

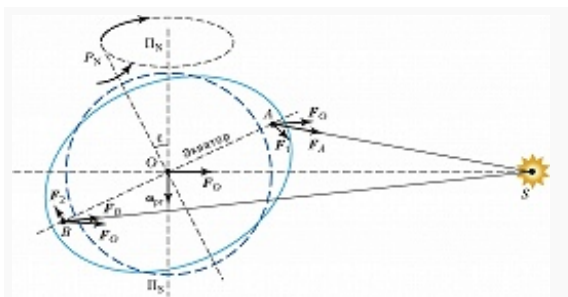


Рис. 2. Силы, вызывающие прецессию Земли. S – Солнце, PN – северный полюс мира, PN и PS – северный и южный полюсы эклиптики. Синей штриховой линией показано сферическое приближение формы Земли, голубо...

П. в астрономии, изменение направления вектора углового (кинетического) момента небесного тела под действием момента внешней силы. Наиболее изучена П. Земли под действием сил притяжения Луны и Солнца. П. Земли была открыта Гиппархом во 2 в. до н. э. и названа предварением равноденствий (т. к. вследствие П. Земли точки осеннего и весеннего равноденствий медленно смещаются по эклиптике навстречу Земле в её движении вокруг Солнца и новое равноденствие наступает раньше, чем Земля опишет полный круг). Физико-математич. объяснение П. впервые дал И. Ньютон в 1686. Теория П.

развита в 18 в. в работах Ж. Д'Аламбера, П. Лапласа и Л. Эйлера. Точные числовые значения осн. величин, характеризующих П. Земли, определены Ф. Бесселем в нач. 19 в. (на основе наблюдений).

П. Земли вызвана её несферичностью и несовпадением плоскостей экватора и эклиптики. Экваториальный радиус Земли больше полярного, поэтому гравитац. притяжение Луной или Солнцем экваториального избытка масс Земли вызывает момент сил, стремящийся совместить плоскости экватора и эклиптики (рис. 2).

Рассматривая гравитац. воздействие Солнца

S на несферич. Землю, можно выделить силу

F_O , действующую на центр масс Земли

O , и силы

F_1 и

F_2 , действующие на экваториальный избыток масс и определяемые выражениями

$$F_1 = F_A - F_O \text{ и}$$

$$F_2 = F_B - F_O, \text{ где}$$

F_A и

F_B – силы, действующие со стороны Солнца на точки

A и

B (центры масс экваториального избытка масс в данном сечении). Пара сил

F_1 и

F_2 стремится повернуть плоскость экватора

AB по часовой стрелке (момент сил направлен перпендикулярно плоскости рисунка от читателя). Из-за вращения Земли вокруг своей оси

OP_N такого поворота не происходит, но ориентация оси

OP_N изменяется: она описывает в пространстве конус вокруг оси

OP_N , перпендикулярной плоскости орбиты Земли. Угол ϵ между осью вращения Земли

OP_N и осью

OP_N равен углу наклона эклиптики к экватору (ок. $23,5^\circ$).

На рисунке представлено расположение Земли и Солнца при зимнем солнцестоянии.

Во время солнцестояний момент сил

F_1 и

F_2 максимален; следовательно, и мгновенная угловая скорость

ω_{pr} П. максимальна. Во время равноденствий момент сил

F_1 и

F_2 равен нулю и

$\omega_{pr} = 0$.

В реальности мгновенная угловая скорость П. складывается из двух осн. частей, обусловленных моментами сил притяжения Солнца и Луны. В результате этого

суммарного эффекта сев. полюс мира описывает на небесной сфере кривую, близкую к окружности с угловым радиусом ок. $23,5^\circ$. Период оборота составляет ок. 25765 лет.

Вектор

ω_{pr} направлен к точке

P_S , поэтому прецессионное движение оси

OP_N происходит по часовой стрелке, если смотреть с сев. полюса эклиптики: точка весеннего равноденствия смещается по эклиптике навстречу Солнцу со скоростью ок. $50,3''$ в год.

Рассматриваемые силы притяжения и их моменты изменяются во времени из-за обращения Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли. Это приводит к периодич. движениям вектора углового момента Земли, которые накладываются на медленное прецессионное движение и называются нутацией в астрономии.

Момент сил, вызывающий П., пропорционален

r^{-3} , где

r – расстояние от Земли до источника внешней силы. Поэтому гл. роль в прецессионном движении полюса мира играет ближайшее к Земле небесное тело – Луна (её влияние примерно в 2 раза больше влияния Солнца). Притяжение экваториального избытка масс Земли др. планетами Солнечной системы также должно вызывать прецессионное движение оси мира. Однако из-за большой удалённости планет их влияние малó (макс. амплитуды гармоник не превышают $0,25$ мс дуги). Тем не менее в совр. теориях прецессии – нутации Земли планетная П. также учитывается.

Гораздо большее влияние планеты оказывают на положение плоскости эклиптики в пространстве: планеты вызывают возмущения орбиты Земли, т. е. изменение положения в пространстве вектора орбитального углового момента системы Земля – Луна. В результате полюс эклиптики

P_N смещается примерно на $0,5g$ в год, что приводит к дополнит. движению точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу на $12''$ в столетие и уменьшению наклона эклиптики к экватору на $47''$ в столетие. Это смещение полюса эклиптики называют П. от планет.

Литература

Лит.: Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. 20-е изд. М., 2010.

Лит.: Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / Под ред. Г. Н.

Дубошина. 2-е изд. М., 1976; Жаров В. Е. Сферическая астрономия. Фрязино, 2006.

Processing math: 100%