



Мукушев Базарбек Агзашулы

*Доктор педагогических наук,
профессор кафедры физики
Казахского агротехнического университета
имени С.Сейфуллина (г. Нур-Султан (г. Астана)),
обладатель государственного гранта Республики
Казахстан «Лучший преподаватель вуза – 2007 и 2012».*

Движение тела в поле центральной силы

В статье проанализированы естественные и виртуальные центральные силы. Представлены результаты исследования движения тела в поле этих сил, полученные на основе компьютерных экспериментов.

Введение

Центральная сила – это сила, линия действия которой на тело при любом его положении, проходит через точку, называемую центром силы. Тело при этом в большинстве случаев рассматривается как материальная точка, а центр также считается точечным [1].

Когда материальные точки или частицы взаимодействуют *силой обратно пропорциональной квадрату расстояния*, то мы имеем дело силами тяготения или Кулона (сила притяжения и отталкивания). Второй пример центральной силы – квазиупругие силы. В поле квазиупругих сил материальные точ-

ки притягиваются к центру *силой прямо пропорциональной расстоянию*. Эти два вида центральных сил существуют в природе. По этой причине их будем называть *естественными центральными силами*.

Благодаря компьютерному моделированию стало возможным исследовать не только естественные центральные силы, но и центральные силы, называемые *виртуальными*. К виртуальным центральным силам относятся законы взаимодействия двух материальных точек, которые не подчиняются законам естественных центральных сил.

1. Естественные и виртуальные центральные силы

К естественным центральным силам относятся сила всемирного тяготения ($\vec{F} = -G \frac{mM}{r^3} \vec{r}$), сила отталкивания и притяжения заряженных частиц (закон Кулона $\vec{F} = k \frac{qQ}{r^3} \vec{r}$) и квазиупругие силы ($\vec{F} = -k\vec{r}$). Далее мы рассмотрим только те центральные силы, в поле которых частица притягивается к центру.

Французский математик Бертран установил теорему о силах, которые зависят только от положения движущейся точки, и заставляют её описывать конические сечения (окружность, эллипс, парабола и гипербола), каковы бы ни были начальные условия. По теореме Бертрана, при выполнении некоторых начальных условий частица может двигаться по замкнутой траектории в двух случаях: 1) в поле силы притяжения, которая обратно пропорциональна квадрату расстояния r до центра O ; 2) в поле квазиупругой силы (F пропорциональна r). В обоих случаях геометрический вид траектории один и тот же: это будет либо окружность, либо эллипс [2,3].

На рисунке 1 представлен случай, когда на тело действует сила всемирного тяготения. В определённых условиях тело будет двигаться вокруг точки O по замкнутой траектории.

На рисунке 2 изображено вращательное движение тела, подвешенного на нити. На тело всегда действует сила F , направленная в центр окружности. Если угол отклонения нити от вертикали значителен, то сила, направленная к центру ок-

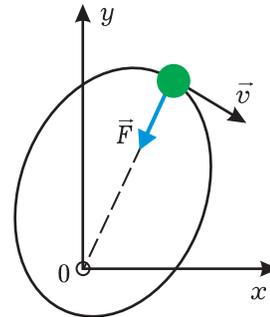


Рис. 1. Движение тела в поле всемирного тяготения

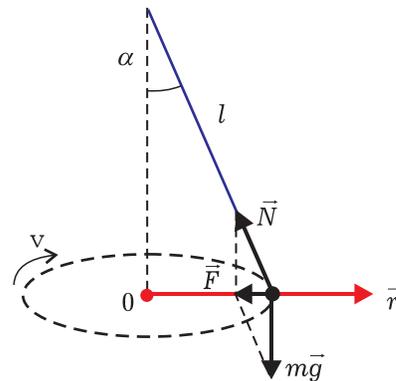


Рис. 2. Движение тела в поле квазиупругой силы

ружности, равна $F = mg \frac{r}{\sqrt{l^2 - r^2}}$, где r – радиус окружности. В этом случае не соблюдается линейная зависимость между силой и расстоянием тела от центра.

При малом отклонении нити от вертикали, можно считать, что $l \gg r$. Сила, действующая на тело, приблизительно равна

$$F \approx \frac{mg}{l} r = k \cdot r, \text{ где } k \approx \frac{mg}{l}.$$

Эту силу можно называть квазиупругой силой. Под действием этой

силы тело движется по замкнутой траектории (либо по окружности, либо по эллипсу), то есть выполняется теорема Бертрана.

На рисунке 3 представлены результаты расчётов движения частицы в центральном поле, в котором сила не подчиняется законам обратных квадратов и квазиупругой силы. Видно, что траекторией является незамкнутая кривая (розетка).

В этом случае не выполняется теорема Бертрана, поскольку частица движется по траектории, не являющейся замкнутой.

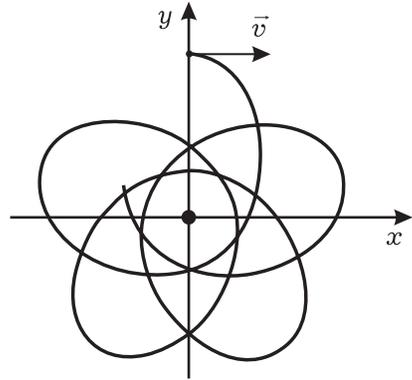


Рис. 3. Траектория движения тела в поле силы притяжения при

$$F \sim 1 / r^{\frac{3}{2}}$$

2. Движение тела в поле естественных центральных сил

Теперь исследуем естественные центральные силы и изучим с помощью компьютерных экспериментов поведение частиц в поле таких сил.

Рассмотрим материальную точку m , движущуюся в центральном поле тела M . На материальную точку действует гравитационная сила, направленная к O (рис. 1) [4]. Моделируем движение ИСЗ вокруг Земли (рис. 4). С по-

мощью программы в среде Mathcad можно моделировать движение спутника при различных его координатах и скоростях. При малых скоростях спутник движется по замкнутой круговой и эллиптической орбите. При увеличении начальной скорости эллипс становится более вытянутым, превращается в параболу (критический случай), а затем в гиперболу.

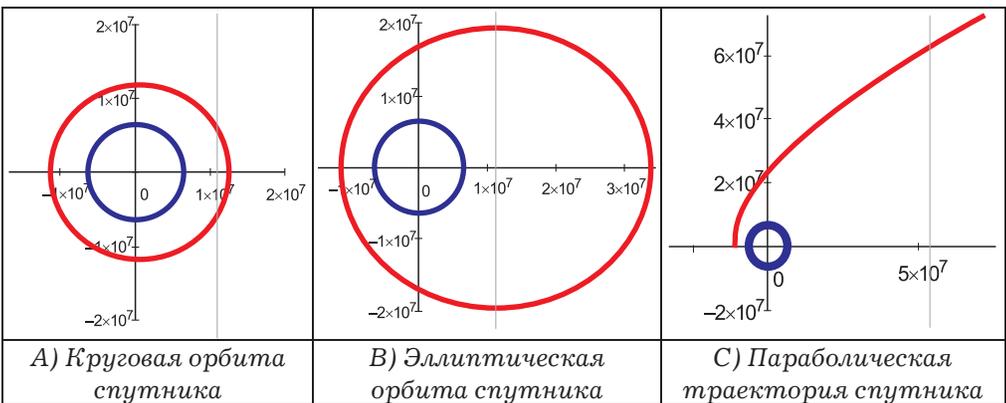


Рис. 4. Траектории движения спутника в зависимости от начальных его координат и скоростей

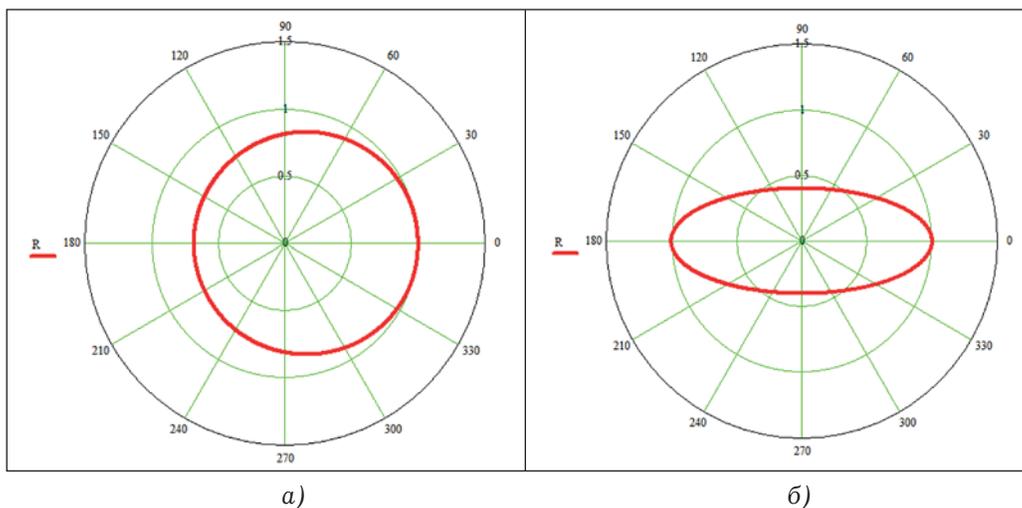


Рис. 5. Движение частицы в поле тяготения (а) и квазиупругой силы (б)

На рисунке 4 представлены результаты компьютерного моделирования движения спутника в поле тяготения Земли в двухмерной координатной системе.

Нами созданы специальные программы для полярной координатной системы в среде Mathcad, позволяющие более наглядно продемонстрировать движения частицы в по-

лях тяготения и квазиупругой силы (Рис. 5).

Заметим, что при эллиптическом движении частицы в гравитационном поле (или кулоновском поле тяготения) один из фокусов находится в центре силы тяготения. Во втором случае точка пересечения большой и малой осей эллипса совпадает с центром квазиупругой силы.

3. Движение частицы в поле виртуальных центральных сил

Для реализации компьютерного моделирования движения тела в поле виртуальных центральных сил, мы устанавливаем формулу зависимости центральной силы от расстояния по своему усмотрению.

На рисунок 6 представлены случаи, когда центральная сила притяжения не подчиняется закону обратных квадратов или квазиупругой силы.

Изменим условия так, чтобы при больших r преобладали силы притяжения, а при малых – силы отталкивания. Этим условиям удовлетво-

ряет следующая формула виртуальной силы:

$$F(r) = \alpha_1/r^n - \alpha_2/r^m$$
, где n и m – действительные положительные числа, α_1 и α_2 коэффициенты пропорциональности. На рисунке 7 изображены траектории тела, когда центральная сила притяжения подчиняется этим закономерностям.

Заметим, что траектория движения частицы в поле виртуальных центральных сил при соблюдении некоторых начальных условий яв-

ляется всегда незамкнутой кривой. Изменяя различные параметры, характеризующие закономерности

поля тяготения, можно получить, сколько угодно видов виртуальных центральных сил.

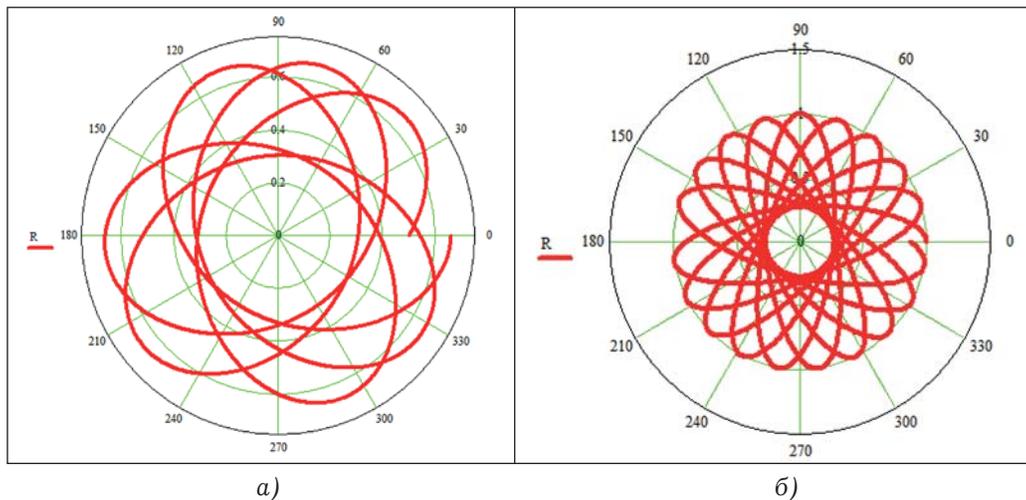


Рис. 6. Движение частицы в виртуальном центральном поле:

а) $F(r) = -\alpha / r$ и б) $F(r) = -\alpha\sqrt{r}$, где α коэффициент пропорциональности

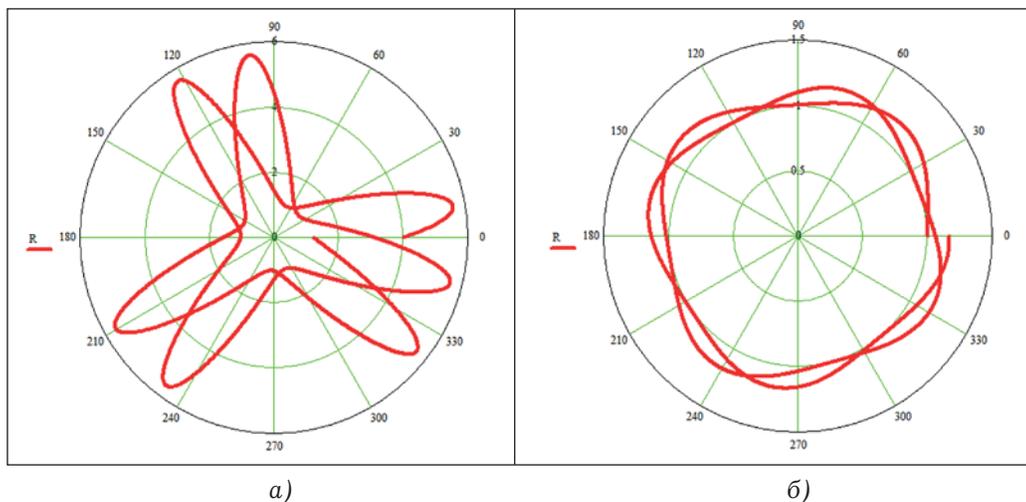


Рис.7. Движение частицы в центральном поле

$$а) F(r) = \frac{4}{r^2} - \frac{1}{r} \quad \text{и} \quad б) F(r) = \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r^2}$$

Компьютерное исследование закономерностей движения частиц в поле центральных сил ещё раз убедительно показывает, насколько оптимально и разумно поступила Природа при конструировании Вселенной после Большо-

го взрыва. Земная цивилизация благодарна Природе за то, что Она создала именно такой устойчивый мир, где царствует сила тяготения между частицами, обратно пропорциональная квадрату расстояния!

Литература

1. *Мукушев Б.А., Мукушев М.А.* Характеристики гравитационных полей небесных тел // Потенциал. – 2016. – №6.
2. *Ворович И.И.* Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и её развитие. Ч 2. – М.: Физматлит, 2010. – 604 с.
3. *Майер Р.В.* Методика проведения лабораторной работы «Движение точки в поле центральной силы» в электронных таблицах Excel // <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/41592>
4. *Мукушев Б.А.* Вывод формулы закона всемирного тяготения из законов Кеплера // Потенциал. – 2013. – №7.

Новости Новости Новости Новости Новости

Нейросеть научили восстанавливать «мысли» человека по электроактивности его мозга

Исследователи российской ГК «Нейроботикс» («Нейроассистивные технологии») и Лаборатории нейроробототехники МФТИ научились воссоздавать по электрической активности мозга изображения, которые человек видит в данный момент. Это позволяет создавать новый тип устройств для постинсультной реабилитации, управляемых сигналами мозга.

Для развития методов лечения когнитивных нарушений, постинсультной реабилитации и создания устройств, управляемых мозгом, необходимо понять то, как мозг кодирует информацию. Ключевая задача для понимания принципов его работы – исследование активности мозга, возникающей при визуальном восприятии информации. Все существующие решения в области распознавания изображений по сигналам мозга используют функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ) или анализ сигнала, получаемого непосредственно с нейронов. Особенности этих методов ограничивают их применение в клинической практике и повседневной жизни. Интерфейс «мозг – компьютер», созданный командой ученых из МФТИ и «Нейроботикс», напротив, использует электроэнцефалограмму (далее ЭЭГ), снимаемую с поверхности головы, и нейросети. Эта разработка с помощью ЭЭГ в режиме реального времени реконструирует кадры из видео, которое смотрит человек.



Продолжение статьи: <https://mipt.ru/news>