

Секрет змеи. Ползет или катится?

А. ЧЕРКУН

ЗАДУМЫВАЛИСЬ ли вы о том, как перемещаются змеи? Понятно, что они извиваются и что используют силу трения. Сила трения действительно необходима — иначе, проскальзывая, не сдвинетесь с места. Но, в порядке мысленного эксперимента, попробуйте те со связанными попарно руками и ногами проползти хотя бы метров десять по дугу — та же сила трения окажется серьезным препятствием. Змея, однако, столь изящна и легка в движениях, что без труда охотится на мелких млекопитающих. Ее движение завораживает, а механизм движения таит в себе красивую загадку. Маловероятно, чтобы никто ее не решил, но решение это широко не известно, а любопытно чрезвычайно.

Оказывается, решение можно найти чисто умозрительно. Дело в том, что высокоорганизованное существо напрасно энергию тратить не будет — энергия расходуется на работу против силы трения. Сделаем некоторые оценки.

Разобьем тело змеи по длине на 39 маленьких участков (это довольно много). Пусть каждый участок имеет мгновенную скорость v_n , где n — номер участка, и давит на землю с силой Q_n . Если P — вес змеи, то

$$P = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{39}.$$

Для силы трения на каждом участке воспользуемся известной формулой

$$F_n = \mu Q_n,$$

где μ — коэффициент трения, и будем помнить, что эта сила противоположна скорости по направлению. В этом случае для расходуемой против силы трения мощности верно следующее выражение:

$$N_n = F_n v_n = \mu Q_n v_n.$$

Тогда для всей змеи получим

$$N = \mu (Q_1 v_1 + Q_2 v_2 + \dots + Q_{39} v_{39}).$$

Предположим, что змея куда-нибудь спешит, и выразим этот факт неравенством

$$v_1 + v_2 + \dots + v_{39} > c.$$

Здесь c — некоторая положительная константа, назовем ее фактором спешки. А сколь малой может быть трата энергии змеей при известных весе змеи P и факторе спешки c ?

Обозначим минимальную из всех сил давления через Q_m и минимальную из всех скоростей — через v_m . Тогда, очевидно,

$$N > 39 \mu Q_m v_m.$$

Желательно, чтобы $Q_m = 0$ и $v_m = 0$, т.е. чтобы змея на некоторых участках имела нулевую скорость, а на некоторых участках давила на землю с нулевой силой. Разумеется, за это придется заплатить повышенной скоростью и повышенным давлением на других участках. Но здесь есть выход — там, где повышена скорость, надо давить меньше, а где повышено давление, надо двигаться потише. Что если змея приподнимает все тело над землей и почти все силы давления равны нулю, кроме нескольких точек, в которых сосредоточен весь вес, а мгновенная скорость тоже равна нулю? Тогда $N = 0$! Правда при этом придется совершать работу против силы тяжести, но эта работа невелика, так как приподниматься надо всего на несколько миллиметров.

Интересно, что идущий человек безотчетно следует описанному принципу. Нога, которая в данный момент касается земли, держит весь вес тела, а другая разгружена и без сопротивления перемещается по воздуху, опережая по скорости корпус человека. Человек при этом еще поднимается на несколько сантиметров. Однако его передвижение разбито на такты — левой, правой. Змеиное движение поражает видимой непрерывностью и отсутствием тактов. Как представить себе движение с постоянной средней скоростью, при котором есть участки с нулевой мгновенной скоростью и отсутствуют такты?

Как известно, уж ползет в направлении от хвоста к голове, а пустынная эфа — перпендикулярно этому направлению, т.е. боком (рис.1). Давайте попробуем смоделировать ее движение.

Намотайте четыре-пять витков тол-

той проволоки на бутылку, снимите ее и растяните за концы, чтобы получилась спираль. Положите ее на светлую поверхность и, осветив настольной лампой, толкните в сторону от лампы. Тень от катящейся спирали идеально напоминает движение эфы. Для большего эффекта к внутренней стороне

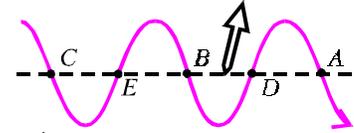


Рис. 1

спирали (чтобы не мешать движению) прикрепите несколько пластилиновых шариков, имитирующих голову и спинной узор змеи. Вы увидите, что тень от шариков то вдвое опережает по скорости ось спирали, то останавливается в момент прохождения шариком нижней точки. Будем считать, что точки A, B, C (см. рис.1) — точки сиюминутного касания «эфы» с землей, а точки D и E находятся в нескольких миллиметрах от земли. Прижмем «эфу» в точках A, B, C. Сможет она еще сместить свою

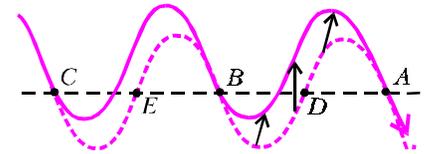


Рис. 2

среднюю линию в прежнем направлении? Да, на рисунке 2 сплошной линией показано ее новое положение, а стрелки иллюстрируют смещения некоторых точек.

Аналогия с тенью спирали хороша, но обладает недостатком — змея не дождейвой червяк и не растягивается, в то время как расстояние между тенями соседних шариков постоянно меняется (убедитесь в этом). Для получения более точной модели обратимся к ри-

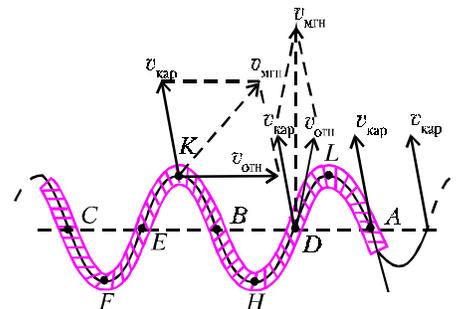


Рис. 3