

сунку 3. Возьмем плоский волнообразный проволочный каркас, бесконечно простирающийся влево и вправо. Прикрепим к нему петельками толстую веревочку — суть эфы. Начнем двигать весь каркас поступательно вверх и чуть влево (по касательной к каркасу в точке *A*) с постоянной скоростью, а веревочку потянем слева направо с той же по величине скоростью так, чтобы она огибала каркас. Сложное движение веревочки относительно плоскости рисунка обладает всеми нужными свойствами: постоянная средняя скорость, локальная нерастяжимость, отсутствие тактов и наличие точек с нулевой мгновенной скоростью. Действительно, в точках типа *A, B, C* скорости относительного движения веревочки и поступательного движения каркаса в сумме дают ноль. Для других точек векторное сложение скоростей дает ненулевой результат с максимумом в точках *D* и *E*. Для еще большего уточнения модели каркас надо подогнуть: прижать к поверхности все точки типа *A, B, C*, а за точки типа *D, E* потянуть от поверхности, чтобы они застыли над ней в нескольких миллиметрах. Если бы веревочка без каркаса погнала волну изгиба вдоль своего «тела», выгибая еще и чуть-чуть «спину», то она поползла бы, подобно эфе, с минимальными затратами энергии. Точки касания при этом, начинаясь от головы *A*, пробегали бы равномерно все тело и отрывались на хвосте *C*.

Приспособим теперь модель каркаса и веревочки для ужа. Каркас, изображенный на рисунке 3, будем двигать слева направо, а веревочку — в обратном направлении. Скорости при сложении дадут ноль в точках *F, H, K, L* — значит, в них уж касается земли, а точки *A, B, C, D, E* парят над землей. Точки касания теперь бегут по телу от хвоста к голове.

Интересно, что след эфы на песке

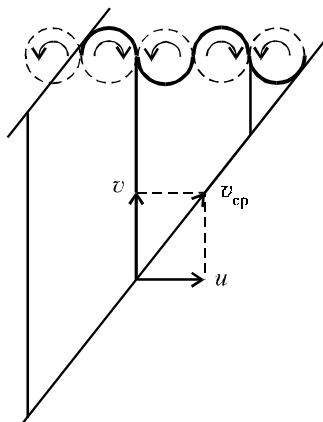


Рис. 4

представляет собой отдельные полосы, длина которых равна длине змеи (рис.4). А след ужа выглядит как след саней — в виде двух полос (так что по нему уже легко не определишь размер змеи).

Оценим средние скорости v_{cp} ужа и эфы в случае их одинаковых размеров и одной и той же частоты телодвижений. Скорости веревочек v относительно каркасов будут одинаковыми, одинаковыми и равными v будут и скорости каркасов. Веревочка огибает все извилины каркаса со скоростью v , поэтому ее прямолинейная средняя скорость u вдоль каркаса меньше v во столько раз, во сколько длина каркаса между точками *A* и *D* больше длины отрезка *AD*. Если считать каркас состоящим из полуокружностей, то это отношение равно $\pi/2$, т.е.

$$u = \frac{v}{\pi/2}.$$

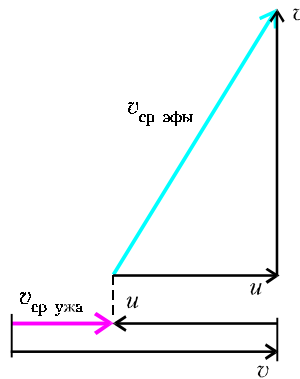


Рис. 5

Сложим векторно скорость веревочки относительно каркаса и поступательную скорость каркаса (рис.5) и получим

$$v_{cp \text{ ужа}} = (1 - 2/\pi)v \approx 0,36v,$$

$$v_{cp \text{ эфы}} = \sqrt{(2/\pi)^2}v = 1,18v.$$

Таким образом, эфа движется втрое быстрее ужа.

Оказывается, свойства колеса — гордости человечества — удивительным образом похожи на описанные выше. Действительно, колесо касается земли в одной точке, что приводит к большому давлению и накладывает требования на твердость дорожного покрытия. Отсутствие проскальзывания (нулевая мгновенная скорость) не дает силе трения в точке касания совершить работу. Точка касания равномерно бежит по ободу колеса, отсутствуют такты.

Представим себе, что на рисунке 6 изображено сплошное колесо с отверстием, в которое вставлена ось *O*, жестко связанная с тележкой. В оси колеса

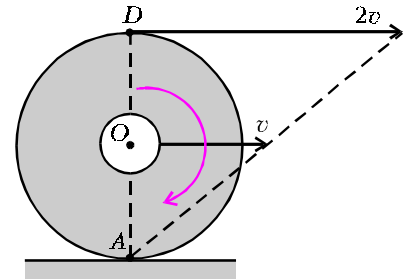


Рис. 6

действует сила трения. Ее величина грубо равняется произведению нагрузки на ось и коэффициента трения, т.е. такая, какая была бы и без колеса. Но работа этой силы мала, так как при полном обороте колеса тележка переместится на длину обода колеса, а трение в оси совершит работу на длине окружности оси. Колесо дает выигрыш в отношении диаметров обода и оси. У змеи «точка касания» представляет собой вытянутое пятно, которое на периферии все-таки проскальзывает, и энергия расходуется. Более того, надо помнить, что мышцы устроены так, что при напряжении они расходуют энергию даже в отсутствие видимых перемещений. Выходит, поверьте о том, что змея догоняет жертву, свернувшись колесом, абсурдно не полностью. Заметим, что описанный принцип движения уменьшает также износ шкурки змеи и минимизирует тепловой контакт с горячим песком или холодной землей.

Для проверки теории в летний солнечный день на реке Оке был пойман уж и отвлечен от своих занятий на 15 минут. Сначала хотелось увидеть его след на песке, но по сухому песку он двигался плохо, перечеркивая предыдущий отпечаток (можно предположить, что он не может оторваться от сыпучего песка), а на сыром песке след был почти не виден. Оказалось, что уж умеет ползать боком, как эфа, и давать задний ход, но это к теории не относится. Затем, прижавшись щекой к песку, я увидел четкие (миллиметров пять) зазоры между брюшком и песком. Это уже факт серьезный. Десятки раз я встречал раньше ужа, но о том, что большая часть его тела приподнята над землей, не подозревал. Общая картина динамики зазоров и точек касания не выяснилась, так как пора было отпускать ужа домой, но то, что он не ленился отрывать тело от земли, — вполне удовлетворительный результат.

Итак, можно сказать, что змея, хоть и не летает, но и не ползает. Видимо, колесный бронетранспортер — один из лучших образцов, пригодных к описанию движения змеи.