



# Кубок 7 ЛФИ

11.s07.e01

## Hint 2

**ВАЖНО!** Задача является одновременно и Хинтом, и Альтернативой к основной задаче. Три важных момента:

1. Вы можете продолжать присылать решение основной задачи.
2. В любой момент до финального дедлайна вы можете перейти на решение *альтернативной задачи*. Если вы это делаете, то в самом начале решения напишите: *Я перехожу на решение альтернативной задачи!* В этом случае Штрафной коэффициент за альтернативную задачу будет равен

$$0,7 \cdot \sum_i \frac{k_i \cdot p_i}{10},$$

где  $p_i$  — балл за пункт, а  $k_i$  — штрафной коэффициент за соответствующий пункт на момент перехода на Альтернативную задачу. Другими словами, максимальный балл за альтернативную задачу равен максимальному баллу, который вы можете получить в момент перехода на нее, умноженному на 0,7. Заметим, что штрафной коэффициент не может быть меньше 0,1. Также напоминаем, что **решения основной задачи с этого момента не проверяются**, а все баллы за основную задачу **обнуляются**. Будьте внимательными!

3. Задача состоит из нескольких пунктов. Штрафной множитель, заработанный **до этого** применяется ко всем пунктам. В дальнейшем каждый пункт оценивается как отдельная задача. Если вы присылаете решение без какого-либо пункта, то его решение считается Incorrect. Более подробно о начислении баллов для составных задач смотрите в Правилах проведения Кубка.

## Альтернативная задача

«Люблю запах свежих инкорректов по утрам,» — подумал Си-Люс-Люс, внимательно наблюдая за тем, как Пайтон в очередной раз запутывается в Ninja Rope, цепляясь то за выступ, то за собственный хвост. Червячок-юнец пыхтел, взбирался, падал, выбирался обратно, снова падал и явно терял уверенность с каждой попыткой.

Си-Люс-Люс флегматично наблюдал за очередными потугами своего падавана. Он очень давно не встречал среди юных worms'ов такого стремления и упорства в достижении цели, и оттого внутри него начало медленно разгораться давно забытое желание сделать жизнь своего ученика проще и понятнее. «Здесь есть смысл сделать один шаг назад, чтобы потом сделать несколько шагов вперёд,» — подумал Си-Люс-Люс и пополз в сторону заброшенной части полигона, на которую уже давным-давно не ступала нога червя. Он не оборачивался, т.к. точно знал, что Пайтон прямо сейчас судорожно пытается выбраться из паутины перепутавшихся между собой Ninja Rope, чтобы поспешить за ним следом.

«Смирение и труд — вот два столпа, на которых стоит искусство боевых червей, мой юный друг. Нет ничего важнее в этом искусстве, чем основы, к которым нужно возвращаться. Перед тобой самая древняя часть полигона, где отрабатывались только базовые упражнения. Никаких сложных манёвров и излишеств. Только чистая техника. Освоишь это, и, если захочешь, вернёмся к тому, с чего начали».

## Кихон

Пайтон видит обычный невесомый Ninja Rope, который подвешен к потолку. Жёсткость Ninja Rope равна  $k$ , масса Пайтона равна  $m$ , ускорение свободного падения  $g$ . Пайтону необходимо подпрыгнуть и повиснуть на свободном конце Ninja Rope, не касаясь пола. По команде Си-Люс-Люса Пайтон резко отпускает жгут и аккуратно приземляется на землю.

1. (1 балл) Определите потери механической энергии в жгуте от момента времени, когда Пайтон висел на нём, до момента, когда он уже приземлился на землю.

## Основной принцип

В этом задании червячку Пайтону предстоит тренироваться на невесомом резиновом жгуте жесткости  $k$  и длины  $L_0$ , подвешенном к потолку. Суть упражнения состоит в следующем: Пайтон оборачивается плотным узким кольцом вокруг жгута в его верхней точке, после чего начинает скользить вниз вдоль Ninja Rope. Сила трения скольжения червячка по поверхности жгута равна  $F$  и  $F < mg$ . Считая, что масса Пайтона равна  $m$ , найдите:

2. (0 баллов) Работу силы трения, действующей на Пайтона, во всем процессе соскальзывания червячка с резинового жгута.
3. (1 балл) Работу силы трения, действующей на резиновый жгут, во всем процессе соскальзывания Пайтона с резинового жгута.
4. (0 баллов) Кинетическую энергию движения Пайтона в последний момент, когда червячок все еще будет касаться жгута.
5. (1 балл) Суммарные потери механической энергии от момента начала движения до последнего момента, **когда Пайтон все еще будет касаться жгута**. А также суммарные потери механической энергии от момента начала движения до момента

времени, когда Пайтон уже какое-то время будет находиться в состоянии свободного полета.

Ускорение свободного падения  $g$ .

## Ката 1. Альтернативная

Возвращаясь к до боли знакомой установке, в следующем задании Пайтону предстоит тренироваться на невесомом резиновом жгуте жесткости  $k$  и длины  $L_0$ , подвешенном к потолку. Суть упражнения состоит в следующем: Пайтон оборачивается плотным узким кольцом вокруг жгута в его верхней точке, после чего начинает скользить вниз вдоль жгута. Силы трения скольжения червячка по верхней и нижней половинам нерастянутого жгута равны  $F_1$  и  $F_2$  соответственно. Считая, что масса Пайтона равна  $m$ , найдите для следующих значений сил  $F_1$  и  $F_2$  суммарные потери механической энергии от момента начала движения до последнего момента, когда Пайтон все еще будет касаться жгута:

6. (1 балл)  $F_1 = F < mg$ ,  $F_2 = (F/2 - kL_0/2) > 0$ ,

7. (1 балл)  $F_1 = F$ ,  $F_2 = 2F < mg$ .

Ускорение свободного падения  $g$ .

## Смена декораций

По завершении очередного подхода к упражнениям в тренировочной локации Пайтон уже рефлекторно приготовился получать указания по улучшению техники, но неожиданно встретил лишь тишину, изредка прерываемую блеянием супер-овец, рёвом бетонного осла и раскатами взрывов святых гранат на соседних островах. Поймав на себе одобрительный взгляд наставника, как всегда скурпулезно высматривавшего любые неточности, Пайтон понял, что он справился.

«Следуй за мной» сказал не глядя Си-Люс-Люс, уже развернувши свое туловище по направлению к тоннелю. Полностью доверившись своему учителю, Пайтон и не заметил, как после пары незнакомых поворотов он оказался в совершенно непривычной для себя обстановке.

Представшее перед его взором чем-то напоминало тренировочную локацию, с одним лишь принципиальным отличием: все вокруг находилось в непрерывном движении. В отличие от привычно статичных кусков земли, лунного грунта или сыра, новая локация состояла из различного рода искусственно обработанных частей механизмов, ни на секунду не оставившихся и издававших пугающие техногенные звуки. «Тебе нужно быть готовым к тому, что даже не можешь представить, поэтому внимательно изучи все, что ты видишь,» — промолвил Си-Люс-Люс и телепортировался.

Первое, на что обратил внимание молодой червячок, — покоящаяся на гладкой горизонтальной поверхности доска длиной  $L$  и массой  $M$ . На краю доски, в свою очередь, покоился небольшой ящик с инвентарём массы  $m$ . Недолго думая, Пайтон начал на него действовать с постоянной горизонтальной силой, приведя в движение вдоль доски с ускорением, которое больше ускорения доски.

8. (1 балл) Найдите ускорение, с которым двигалась доска, если за время движения по

ней ящика выделилось количество теплоты  $Q$ . Считайте, что Пайтон всё это время был НЕ на доске, НЕ на ящике, а просто был. Иногда и этого достаточно.

Вернув систему в начальное положение, Пайтон решил сменить парадигму и толкнул ящик с инвентарем вдоль доски так, что его кинетическая энергия оказалась равна  $K$ . Через некоторое время ящик перестал проскальзывать относительно доски.

9. (1 балл) Найдите количество теплоты, которое выделится в процессе движения.

## Философские покатушки

Появившись за спиной ученика с характерным звуком телепорта, Си-Люс-Люс убедился, что юный падаван уже готов к тому, чтобы начать делать упрощенные упражнения по оказанию первой помощи.

Как и на основном полигоне, в роли «снаряда» выступил сам учитель, которого можно считать однородным резиновым жгутом массы  $m$ , длины  $L_0$  и жесткости  $k$ . Си-Люс-Люс распластался на гладкой горизонтальной поверхности, а Пайтон, ухватив его за хвост, приложил к нему горизонтальную силу  $F$ , направленную вдоль тела Учителя. Спустя некоторое время Си-Люс-Люс тяжело вздохнул и понял, что пора этой бестолковой беготне придать чуть больше смысла, и начал философствовать и задавать, кажущиеся на первый взгляд бессмысленные вопросы. Но это лишь на первый взгляд!

- Мой дорогой друг, подумай-ка для начала о том, чему равна сила упругости в моём сечении, которое делит меня на две части одинаковой массы. А в произвольном сечении?

или:

- Если бы у тебя был папирус и перо, то смог бы ты нарисовать график зависимости силы упругости от моей массы, которая сосредоточена между выбранным сечением и моей головой?

Не получив ответов на свои вопросы, Си-Люс-Люс решил прервать неловкое молчание и добил Ученика более важным вопросом:

10. (1 балл) Мой юный друг, найди, пожалуйста, чему равно моё абсолютное удлинение.

После чего продолжил задавать дополнительные хитрые вопросы:

- Подумай-ка теперь о том, можешь ли ты найти силу упругости в сечении, которое делит меня на две части одинаковой длины? И еще один вопрос. Можешь ли ты найти изменение координаты некоторой части моего тельца  $dm$  после того, как ты начал катать меня по этому полигону? Если да, то переходи к следующему вопросу, который звучит так:

11. (1 балл) Найди, пожалуйста, расстояние от моей бошечки до моего центра масс в процессе движения.

Во всех пунктах этой части задачи считайте, что никаких волновых процессов в Си-Люс-Люсе не происходит и что он находится или в состоянии покоя (до того, как к нему приложили силу), или в состоянии равноускоренного движения.

## Внутренний стержень

В какой-то момент Пайтон дотащил учителя до границы ~~е~~ Канадой, которая разделяла плоскость на две части с разными поверхностями. Левая поверхность — гладкая (та, на которой находятся Си-Люс-Люс и юный worms), правая — шероховатая.

Си-Люс-Люс увидел это и сказал: «Тебе еще многому предстоит научиться. Путь познания нелёгок, но ты должен знать, что самое главное — это внутренний стержень!». На этих словах Си-Люс-Люс напряг все свои мускулы и окаменел. С этого момента он больше не резиновый жгут. С этого момента он является твёрдой палкой массы  $m$  и длины  $L_0$ . Учитель полностью лежит на гладкой поверхности, около границы, перпендикулярно ей. Коэффициент трения между ним и шероховатой поверхностью меняется по следующему закону:  $\mu = \alpha x$ , где  $\alpha = \mu_0/L_0$ ,  $x$  — это расстояние от границы раздела до данной точки. Пайтон хватает хвост Учителя, который располагается у самой границы, и прикладывает силу, направленную вдоль доски.

12. (1 балл) Найдите минимальную работу, которую необходимо совершить юному worms'у, чтобы полностью переместить Учителя на шероховатую поверхность.