Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
Специализированный учебно-научный центр

ЛЕТНЯЯ ШКОЛА
МиФ. МАТЕМАТИКА и ФИЗИКА

Итоговая контрольная работа
Экспериментальные задачи

ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ
КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

Из предложенных ниже экспериментальных заданий надо было выполнить только одно!

1.Лёгкая кнопка

Определить следующие характеристики обычного листа бумаги формата А4:

- длину;
- ширину;
- толщину;
- объём;
- массу;
- плотность.

Считайте известным, что лист данной бумаги площади 1 м^2 имеет массу M = 80 грамм.

Используя полученные величины, определите **массу кнопки**.

Оборудование: 4 листа обычной бумаги, кнопка, миллиметровая бумага, цилиндрический карандаш, который можно использовать как опору для рычага.

Автор задачи – Коновалов Андрей Александрович, учитель физики СУНЦ УрФУ.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Параметры листа бумаги:

Для измерения длин как линейкой будем пользоваться миллиметровой бумагой.

Измеренные параметры листа таковы:

- длина Д = 297 ± 2 мм (1 балл);
- ширина Ш = 210 ± 2 мм (1 балл).

Тогда масса листа равна $M = 80$ г/м^2 $\times$ Д $\times$ Ш $= 80 \times 297\times10^{-3} \times 210\times10^{-3} = 4{,}99 \pm 0{,}08$ грамм (1 балл).

Возможный метод измерения толщины бумаги:

по 10-19 слоям бумаги (1 балл)
20-39 слоев бумаги (2 балла)
40-79 слоев бумаги (3 балла)
80 и более слоев бумаги (4 балла).

Лучше всего намотать в четыре слоя сложенный лист бумаги на цилиндрический карандаш и по изменению диаметра карандаша (ровно 5 оборотов = 80 слоев бумаги) найдем толщину листа.

Значение толщины бумаги: $T = 0{,}11 \pm 0{,}01$ мм (3 балла)
$0{,}13 \le T \le 0{,}17$мм (2 балла)
$T \le 0{,}09$ мм или $T \ge 0{,}18$мм (1 балл).

Рассчитаем объём бумаги:

$$V = Д \times Ш \times T = (6{,}85 \pm 0{,}75) \times 10^{-6}\ м^3 \text{ (2 балла)}$$

$$7{,}6 \times 10^{-6}\ м^3 \le V \le 10{,}8 \times 10^{-6}\ м^3 \text{ (1 балл).}$$

Плотность листа бумаги определим традиционным образом, поделив массу на объём: $\rho = 0{,}73 \pm 0{,}09$ г/см^3 (2 балла)
$0{,}45 \le \rho \le 0{,}65$ г/см^3 (1 балл)

Определение массы легкой кнопки:

Возможное решение: разделим листок на ровные четыре части вдоль длинной стороны (Д×Ш/4), свернем его вдоль длинной стороны в несколько раз получив жесткий однородный стержень массой М/4. Используя карандаш как опору, найдем центр масс однородного стержня. Прикрепив к концу стержня кнопку, найдем новое положение центра масс. Записав уравнение для плеч, найдем массу кнопки, например: $1{,}25г \times 26\ мм = 120\ мм \times M_{кнопки}$

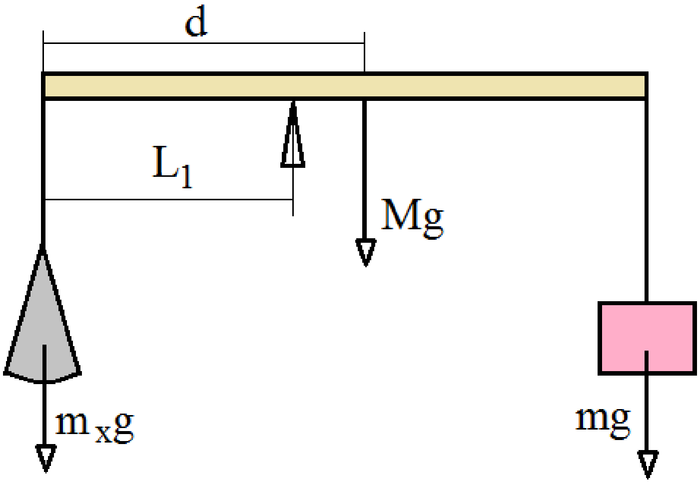
$M_{кнопки} = 0{,}27 \pm 0{,}01$ грамм (4 балла)
$(0{,}25 \le M_{кнопки} \le 0{,}29)$ г (3 балла)
$(0{,}23 \le M_{кнопки} \le 0{,}31)$ г (2 балла)
$(0{,}19 \le M_{кнопки} \le 0{,}35)$ г (1 балл)
$(0{,}11 \le M_{кнопки} \le 0{,}44)$ г (0,5 балл)

2.Плавленный сыр

Определить **плотность** плавленного сыра.

Оборудование: «треугольничек» плавленного сыра, весы, линейка известной массы M = 9,2 грамма, груз известной массы m = 6 грамм, нитки.

Автор задачи – Инишева Ольга Викторовна, заместитель директора по научной работе, зав.кафедрой физики и астрономии СУНЦ УрФУ.



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Определим центр масс линейки. Пусть он находится на расстоянии d от нулевой метки. Его положение определим традиционным способом – с помощью нитки (разумно сделать петлю и, держась на конец нити, добёмся горизонтального положения нити). Идея метода – использовать линейку как рычаг. На отметку 0 привяжем кусок сыра, на отметку 30 см – ластик (груз известной массы). Ту нитку, с помощью которой определяли положение центра масс линейки, будем передвигать до тех пор, пока линейка с двумя грузами не окажется в горизонтальном положении (положение О’). Условие равновесия линейки

$m_x g L_1 = Mg(d - L_1) + mg(2d - L_1)$

Из записанного соотношения определим массу кусочка сыра

$$m_x = \left(M + 2m\right)\frac{d}{L_1} - (M + m).$$

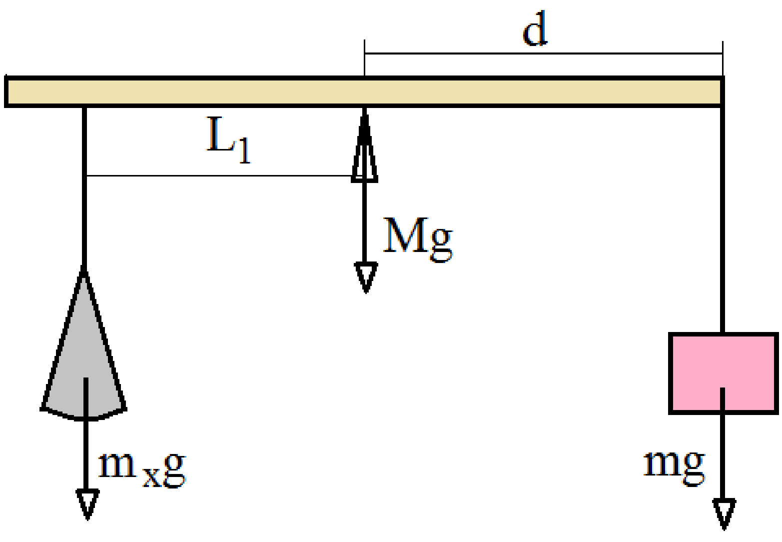
Оценим погрешность в определении массы кусочка сыра

$$\frac{\Delta m_x}{m_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L_1}{L_1}\right)^2}.$$

Казалось бы, возможен немного другой способ решения. Идея та же, реализация немного отличается. Найдя центр масс линейки, закрепим здесь нитку, и не будем её больше никуда передвигать.

Вариант: на отметку 0 или 30 на нити повесим кусочек сыра. С другой стороны линейки подвесим на нити ластик, будем его передвигать, пока не добьемся горизонтального положения линейки. Но … действуя так, положения равновесия не добьемся никогда, так как масса кусочка сыра больше массы ластика (масса упаковки примерно 140 грамм, в ней 8 «треугольничков», следовательно, масса «треугольничка» примерно 17 грамм), поэтому ластик нужно подвешивать на расстоянии, большем 15 см.

Поэтому надо поступать так: нужно как можно дальше от центра масс повесить ластик (более лёгкий груз), а затем уже подвешивать сыр. Итак, надо на отметку 0 или 30 на нити прикрепить ластик, в с другой стороны линейки на нити прикрепить кусочек сыра и передвигать эту нить ближе к центру масс до положения равновесия.



Условие равновесия линейки

$m_x g L_1 = mgd$.

Из записанного соотношения определим массу кусочка сыра

$$m_x = m\frac{d}{L_1}.$$

Погрешность в определении массы кусочка сыра определяется так же, как при первом способе

$$\frac{\Delta m_x}{m_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L_1}{L_1}\right)^2}.$$

Для определения плотности надо остается ещё найти объём кусочка сыра. Опять же воспользуемся линейкой. В упаковке 8 кусков, если их сложить вплотную, то получится цилиндр радиуса R и высоты h. Найдем высоту кусочка h, определим радиус R с помощью линейки. Далее объём куска посчитаем по формуле

$$V = \frac{1}{8}\pi R^2 h.$$

Погрешность в измерении объёма можно оценить так

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2}.$$

Плотность сыра рассчитаем по хорошо знакомой формуле

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Погрешность можно оценить так

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_x}{m_x}\right)^2}.$$

Критерии оценивания

1.Идея об использовании линейки в качестве рычага для весов 1 балл

2.Описание метода, получение правильных расчётных формул до 5 баллов

Если вместо сектора окружности рассматривается равнобедренный треугольник, то выше 3 не ставится.

3.Определение центра масс линейки до 1 балла

4.В первом методе учет силы тяжести линейки, во втором – выбор вариантов подвешивания кусочка сыра и ластика до 2 баллов

5.Результаты измерений до 2 баллов

Промежуточные измерения: высота кусочка сыра $h = 1{,}5\ см$, радиус $R = 5{,}1\ см$, объём $V = 1{,}5 \cdot 10^{-5}\ м^3$, масса кусочка $m = 17{,}5\ кг$.

6. Значение плотности 2 балла

узкие ворота ±5% , значение плотности: $1070\ \frac{кг}{м^3} \le \rho \le 1190\ \frac{кг}{м^3}$ (2 балла)

широкие ворота ±15%, значение плотности: $960\ \frac{кг}{м^3} \le \rho \le 1300\ \frac{кг}{м^3}$ (1 балл)

7.Оценка погрешностей до 2 баллов

Полный балл выставляется, если погрешности верно оценены (формула), есть пример расчёта и верно рассчитана.

3. Картошка со скрепками

Определите **плотность** груза неправильной формы. Опишите предпринятые действия, которые привели к увеличению точности результата эксперимента. Плотность воды $\rho_B = 1000$ кг/м^3.

Приборы и оборудование: Неоднородная трубка, нитки, одинаковые скрепки (50 штук), груз (кусок картошки), стаканчик с водой, салфетки для поддержания порядка, ножницы по требованию.

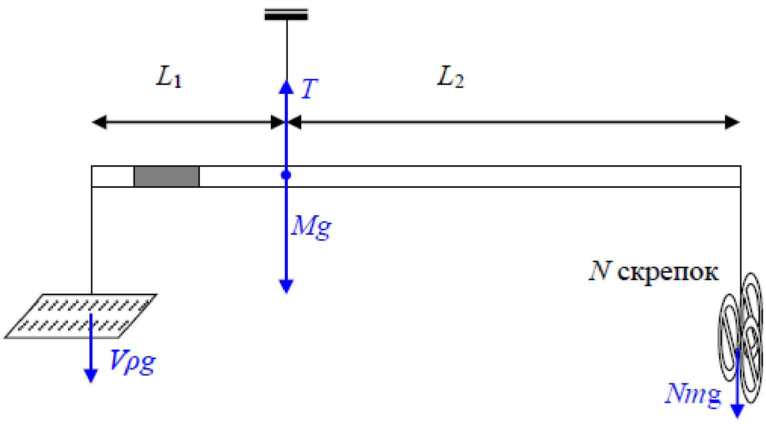
Внимание! При выполнении эксперимента оборудование, кроме перечисленного в задании, использовать запрещено.

Эта задача была предложена Замятниным Михаилом Юрьевичем, сотрудником лаборатории по работе с одарёнными детьми МФТИ, председателем жюри по 9 классу заключительного этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике. В январе она была включена в задания 9 класса регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике и в задания 8 класса регионального этапа олимпиады имени Максвелла.

Возможное решение:

Для определения плотности куска картошки воспользуемся методом гидростатического взвешивания. Задача осложняется неоднородностью рычага и отсутствием измерителей длин.

Добьемся равновесия неоднородного рычага на нити, и определим положение его центра тяжести. Затем уравновесим на рычаге кусок картошки максимально возможным количеством скрепок. При подвешивании тел надо стремиться использовать самые большие расстояния от центра тяжести рычага. При этом важно обратить внимание на то, что общая масса всех скрепок меньше массы куска картошки. Центр тяжести рычага тоже находится не посередине, а примерно на трети его длины, поэтому для повышения точности измерений, более тяжелое тело необходимо подвесить к короткому плечу рычага. Пусть для равновесия картошки в воздухе потребовалось N_1 скрепок в воздухе.



По правилу моментов относительно точки подвеса рычага

$$V\rho gL_1 = N_1 mgL_2,$$

где m – масса одной скрепки, V – объем ластика.

Не изменяя расстояния между точками крепления нитей, полностью погрузим ластик в воду. Добьемся нового равновесия, уменьшив количество скрепок до N_2. Новое уравнение будет иметь вид

$$V(\rho - \rho_0)gL_1 = N_2 mgL_2.$$

Разделив одно уравнение на другое, получим

$$\rho = \rho_0 \frac{N_1 - N_2}{N_1}.$$

Возможен вариант решения, когда длины плеч измеряются в скрепках, но следует помнить, что точность такого метода невысока, так как длина может быть равна нецелому числу скрепок. Такое решение будет оцениваться ниже, чем 15 баллов (за пункт 2 ставится не более 3 баллов)

Критерии оценивания

1. Идея гидростатического взвешивания 1 балл

2. Описание метода до 5 баллов
3. Определение центра масс рычага 1 балл
4. Явное указание на действия, увеличивающие плечи рычага 1 балл
5. Результаты измерений 2 балла
   измерений больше 3 – 2 балла;
   однократное измерение – 1 балл.
6. Значение плотности 3 балла

$$1000\ \frac{кг}{м^3} \le \rho \le 1200\ \frac{кг}{м^3}\ \text{(3 балла)}$$

$$1000\ \frac{кг}{м^3} \le \rho \le 1270\ \frac{кг}{м^3}\ \text{(2 балла)}$$

ответ не входит в этот диапазон, но меньше 1000 (картошка тонет), и не больше 1400 кг/м^3 (1 балл)

7.Оценка погрешностей до 2 баллов
Полный балл выставляется, если погрешности верно оценены (формула), есть пример расчёта и верно рассчитана.
Примечание:
В том случае, когда в работах есть измерение объёма (путем оценки высоты воды в стаканчике, либо каким-то другим), работа не может быть оценена выше, чем 2 балла.

ВИДЕО – ЗАДАЧИ

1.Загадка стакана

На стеклянный стакан положили массивную плиту. Сильно ударили по плите молотком – но стакан остался цел! Теперь на тот же стакан поставили плиту значительно меньшей массы и размера. С той же силой ударили по этой плите – и стакан разлетелся на мелкие осколки.
Почему в первом случае стакан остался цел?
Дайте подробный ответ, используя известные Вам физические законы.

РЕШЕНИЕ:

Стекло является хрупким материалом, то есть уже при небольших относительных деформациях оно разрушается. Но в пределах «упругого участка» стекло является очень прочным материалом. Следовательно, главный вопрос – почему при ударе молотка о массивную плиту ее смещение (а, следовательно, – и величина деформации стекла) мало. (1 балл).

Воспользуемся законом сохранения энергии (потерями при ударе будем пренебрегать) и сделаем некоторые оценки. Обмен энергией происходит сначала между молотком и плитой (после удара молотка плита приобретает кинетическую энергию). Затем происходит обмен энергией между плитой и стаканом (кинетическая энергия плиты превращается в потенциальную энергию деформации стакана) (1 балл).

Рассмотрим массивную плиту. Чтобы найти кинетическую энергию, приобретенную плитой, нужно знать ее скорость. Эту скорость найдем из закона сохранения импульса. Будем считать удар абсолютно упругим. Тогда:

$$mv = M_1V_1 - mv \qquad V_1 = 2mv / M_1 \text{ (2 балла).}$$

Здесь M – масса плиты, а m – масса молотка.

Теперь найдем деформацию стакана, воспользовавшись законом сохранения энергии.

$$M_1V_1^2 / 2 = k(\Delta x_1)^2 / 2 \qquad \Delta x_1 = V_1\sqrt{M_1} / \sqrt{k} = 2mv / \sqrt{kM_1^3} \quad \text{(1 балл)}$$

Удар о маленькую плиту можно считать абсолютно неупругим, поэтому во втором случае

$$V_2 = mv / (M_2 + m) \qquad \Delta x_2 = V_2\sqrt{(M_2 + m)} / \sqrt{k} = 2mv / \sqrt{k(M_2 + m)^3}$$

В результате имеем – смещение плиты при ударе зависит от массы так «по закону 3/2». Т.е., если например, масса 1-й плиты 25 кг, а масса молотка и второй плиты 500 г, то смещение во втором случае (когда стакан разбивается) в 125 раз больше! (1 балл)

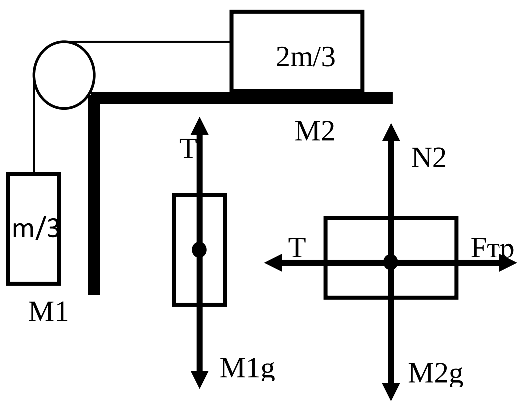
2.Цепочка

Свесим часть цепочки с закругленного края доски. Начнем свешивать один из концов цепочки. Когда на доске осталось 2/3 длины цепочки – она начала соскальзывать. Определите коэффициент трения цепочки о поверхность доски.

Полное правильное решение должно включать законы и формулы, необходимые для решения задачи, подробный чертеж, а также математические преобразования, численные расчеты и численный ответ.

РЕШЕНИЕ:

Для нахождения силы трения рассмотрим начальный момент времени соскальзывания цепочки. В этот момент трение покоя сменилось трением скольжения, но движение еще не началось, поэтому все силы скомпенсированы В этом случае результирующая сила, действующая на каждую из частей цепочки равна нулю. (1 балл)



Теперь будем рассматривать части цепочки как грузы, связанные невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок . Запишем для тел системы первый закон Ньютона (см. чертеж):

для «свешивающейся» части $T - mg/3 = 0$,

для «горизонтальной» части $T - F_{тр} = 0$.

Учтем также, что $F_{тр} = \mu N = 2\mu mg/3$.

В итоге получим для «горизонтальной» части $T - 2\mu mg/3 = 0$ (за все 2 балла).

Решая данную систему уравнений

$$\begin{matrix} T - 2\mu mg/3 = 0 \\ T - mg/3 = 0 \end{matrix},$$

получаем $\mu = 1/2$ (2 балла).

3.Маятник

Нить, привязанная к стальному ($\rho = 7{,}8$ кг/см^3) шару ($V = \frac{4}{3}\pi r^3$) охватывает его 4 раза. Подвесим шар и заставим его совершать колебания. За 12 с он совершил 5 колебаний. Определите массу шара.

Полное правильное решение должно включать законы и формулы, необходимые для решения задачи, подробный чертеж, а также математические преобразования, численные расчеты и численный ответ.

РЕШЕНИЕ:

Период колебания математического маятника от массы груза не зависит, а определяется только ускорением свободного падения g и длиной нити L

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \qquad \text{(0,5 баллов)}$$

Длина связана с радиусом шара соотношением $4\cdot 2\pi R = L$ (1 балл). Не забудем учесть размер шара, когда будем считать длину математического маятника! (1 балл).

$2\pi R_ш = L/4$

$L + R_ш = T^2 g/4\pi^2$

Найдя период колебаний маятника из данных условия задачи T=12/5=2,4 с (0,5 баллов), определим радиус шара

$R_ш = T^2 g/4\pi^2(8\pi + 1) \approx 0{,}0547 м$ (1 балл)

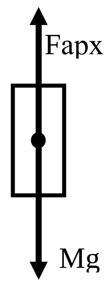
После этого находим объем шара и, зная плотность стали, его массу

$m = \rho V = 4\pi\rho R^3/3 = 5{,}347 кг$ (1 балл).

4.Конфетная плотность

В подкрашенной воде плавает пробирка. Первоначальный уровень жидкости равен 200 мл. Будем опускать в пробирку конфеты. Опустив 3 конфеты, видим, что уровень жидкости стал 220 мл. Определите массу одной конфеты.

Полное правильное решение должно включать законы и формулы, необходимые для решения задачи, подробный чертеж, а также математические преобразования, численные расчеты и численный ответ.



Для решения задачи воспользуемся условием плавания

$mg = F_{арх}$, $F_{арх} = \rho_ж g V_{пч}$ - сила Архимеда.

Без конфет массы М пробирка плавает, погрузившись на одну глубину (назовем её h_1)

$$Mg = \rho_ж g S h_1.$$

С конфетами пробирка погрузится глубже (h_2)

$$(M + 3m)g = \rho_ж g S h_2.$$

Балла: 1 балл ставится за наличие рисунка с силами, за условие плавание пробирки и пробирки с конфетами – 2 балла.

Значит, сила тяжести 3-х конфет равна

$3mg = \rho_{ж} g \Delta V$. Здесь ΔV – изменение погруженного в жидкости объёма пробирки (его находим по видеофрагменту) (1 балл).

Масса одной конфеты равна $m = \frac{0,2}{3 \cdot 9,8} = 0,0068 кг = 6,8 г$ (1 балл за правильное числовое значение массы).

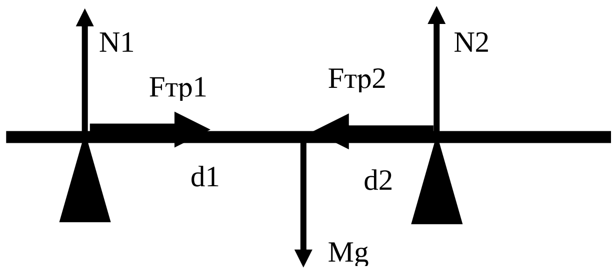
5.Волшебная палочка

Если «волшебную» палочку положить на 2 опоры (руки) и начать сближать эти опоры, то палочка будет сохранять равновесие, несмотря на движение опор. Более того, это «волшебное» свойство палочка будет сохранять даже если двигать только одну опору!

Объясните, почему палочка сохраняет равновесие. В какой точке сойдутся опоры?

Дайте подробный ответ, используя известные Вам физические законы. Полное правильное решение должно включать законы и формулы, необходимые для решения задачи в общем виде и подробный чертеж.

РЕШЕНИЕ:



Внимательно посмотрев видео, заметим, что волшебство заключается в том, что палочка может покоиться относительно опоры (и тогда на нее действует сила трения покоя), а может скользить по ней (и тогда на нее действует сила трения скольжения). Условием такого движения является либо $F_{тр2} \geq F_{тр1}$ либо – наоборот. При равенстве этих сил движение является равномерным (1,5 балла).

Объясним, почему так происходит. Для этого запишем условия равновесия (ось OY). Их два – сумма сил, действующих на тело, равна нулю, и – сумма моментов сил, действующих на тело, равна нулю. Сил у нас три (см чертеж). d_1 и d_2 измеряем относительно центра масс палочки.

$N_1 + N_2 - mg = 0 \qquad N_1 d_1 = N_2 d_2$

$N_1 d_1 = (mg - N_1) d_2 \qquad N_1 = mgd_2 / (d_1 + d_2) \qquad N_2 = mgd_1 / (d_1 + d_2)$ (1,5 балла)

Предположим, мы начали перемещать опору номер 2. И при этом палочка относительно нее покоится (на нее действует сила трения покоя со стороны опоры 2). Это означает, что палочка скользит относительно опоры 1 (на нее действует сила трения покоя со стороны опоры 1). Т.к. палочка движется влево $F_{тр2} > F_{тр1}$. Плечо d_1 начинает сокращаться – сила трения $F_{тр1}$ начинает расти, т.к. растет N_1. Плечо d_2 остается постоянным но сила трения $F_{тр2}$ начинает уменьшаться, т.к. d_1 уменьшается. В некоторый момент $F_{тр2} < F_{тр1}$ и начнется движение в обратную сторону (1,5 балла). Такое движение будет продолжаться до тех пор, пока опоры не «сойдутся» в центре масс палочки (0,5 баллов).