

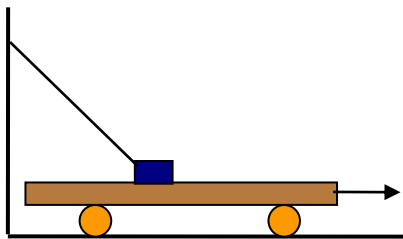
10-11 классы, подготовка к теоретическому туру
олимпиады школьников «Робофест» по физике

Набор задач для самостоятельного решения по занятию № 3.

Тема: «СИЛЫ, РАВНОВЕСИЕ И ДВИЖЕНИЕ».

Задача 1 (2 балла) [условие равновесия, сила трения, сила нормальной реакции, сила натяжения нити]

Небольшой груз массы $m=300$ г лежит неподвижно на горизонтальной платформе, которую вытягивают из-под него. Его удерживает на месте легкая нерастяжимая нить (см. рисунок), составляя при этом с горизонталью угол $\alpha=45^\circ$. Найти силу натяжения нити. Коэффициент трения между грузом и платформой $\mu=0,5$. Ускорение свободного падения $g \approx 10 \text{ м/с}^2$. Ответ запишите в Ньютонах, округлив до десятых. Груз не отрывается от платформы.



Подсказка 1: на груз действуют: сила тяжести, сила нормальной реакции и сила трения со стороны платформы, сила натяжения нити.

Подсказка 2: поскольку груз, оставаясь на месте, скользит по движущейся платформе, то сила трения $F_{тр} = \mu N$.

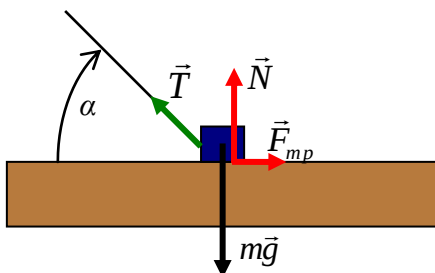
Подсказка 3: нужно записать условия равновесия сил – например, в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси.

Решение:

Изобразим силы, действующие на груз (см. рисунок). Поскольку груз, оставаясь на месте, скользит по движущейся платформе, то сила трения $F_{тр} = \mu N$. Условия равновесия сил в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси дают нам два уравнения для двух неизвестных сил реакции:

$$\begin{cases} T \cos \alpha - \mu N = 0 \\ T \sin \alpha + N = mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = \frac{T \cos \alpha}{\mu} \\ T(\mu \sin \alpha + \cos \alpha) = \mu mg \end{cases}.$$

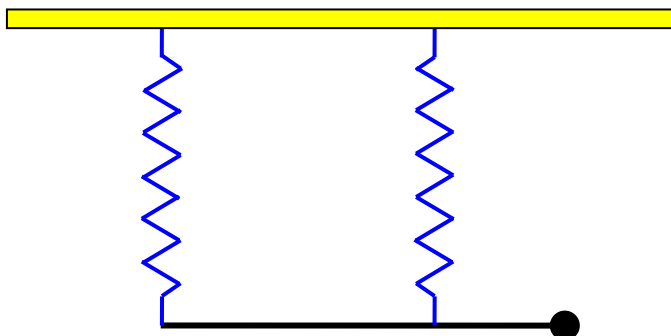
Таким образом, $T = \frac{\mu mg}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha} \approx 1,4 \text{ Н}$.



ОТВЕТ: 1,4.

Задача 2 (3 балла) [условие равновесия сил, правило моментов, закон Гука]

Однородный тонкий стержень подвешен на двух одинаковых очень жестких пружинах, одна из которых прикреплена к его левому концу, а другая – к точке, находящейся на расстоянии трети длины стержня от левого (см. рисунок). К правому концу стержня прикрепili маленький груз, масса которого равна массе стержня. Система находится в равновесии, причем оси обеих пружин при этом вертикальны. Во сколько раз отличаются величины деформаций первой и второй пружины? В ответе укажите число.



Подсказка 1: отношение величин деформаций пружин равно отношению величин сил упругости: $\frac{|\Delta l_2|}{|\Delta l_1|} = \frac{F_2}{F_1}$.

Подсказка 2: все силы, действующие на стержень: силы упругости пружин, сила тяжести стержня и вес груза – направлены вертикально, и для решения достаточно записать условие равновесия сил в проекции на вертикальную ось и правило моментов.

Подсказка 3: правило моментов относительно центра масс стержня имеет вид:

$$mg \frac{L}{2} + F_1 \frac{L}{2} - F_2 \frac{L}{6} = 0.$$

Решение:

Будем считать, что деформации пружин малы, и к ним применим закон Гука. Тогда, поскольку пружины одинаковы, то отношение величин деформаций равно отношению

величин сил упругости: $\frac{|\Delta l_2|}{|\Delta l_1|} = \frac{F_2}{F_1}$. Поскольку все силы, действующие на стержень: силы

упругости пружин, сила тяжести стержня и вес груза – направлены вертикально, то условие равновесия сил в проекции на ось, направленную вертикально вверх, имеет вид:

$$F_1 + F_2 = 2mg.$$

Теперь запишем правило моментов относительно центра масс стержня (L – длина стержня):

$$mg \frac{L}{2} + F_1 \frac{L}{2} - F_2 \frac{L}{6} = 0 \Rightarrow F_2 - 3F_1 = 3mg.$$

Решая полученную систему относительно сил натяжения, находим: $F_1 = -\frac{1}{4}mg$, $F_2 = \frac{9}{4}mg$.

Как видно, первая пружина сжата (ее сила упругости направлена вниз), а вторая растянута, причем $\frac{|\Delta l_2|}{|\Delta l_1|} = 9$.

ОТВЕТ: 9.

Задача 3 (4 балла) [условия равновесия, сила тяжести, сила нормальной реакции, сила трения]

Однородный брусок с квадратным основанием $a \times a$ и высотой $h = a\sqrt{3}$ стоит на горизонтальной плоской доске. Коэффициент трения между доской и бруском $\mu = 0,65$, стороны основания бруска параллельны сторонам доски. Доску медленно начинают поднимать за одну из сторон (эта сторона в процессе подъема остается горизонтальной).

При какой величине угла наклона доски к горизонту равновесие бруска нарушится? Ответ выразите в градусах и округлите до целых.

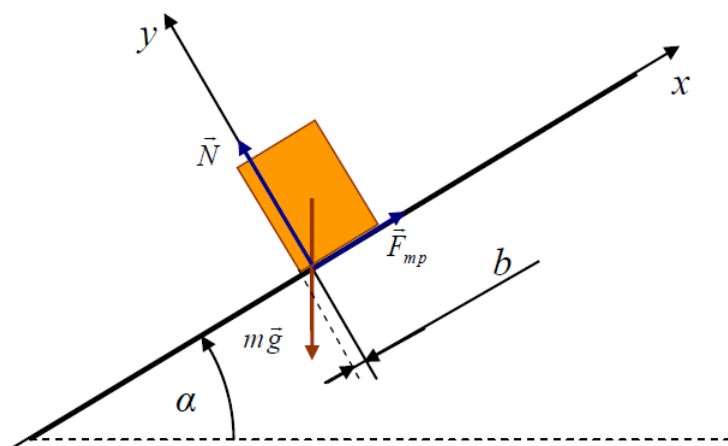
Подсказка 1: у бруска может быть два способа нарушения равновесия: он может начать скользить либо покатиться.

Подсказка 2: условие отсутствия скольжения - $|F_{mp}| \leq \mu N$, условие отсутствия кантования – то, что точка приложения равнодействующей сил нормальной реакции (совпадающая с точкой пересечения линии действия силы тяжести с поверхностью) находится в площади опоры.

Подсказка 3: в данном случае брусок начнет кувиркаться, а не скользить.

Решение:

Пока равновесия бруска не нарушено, сумма и сумма моментов приложенных к нему сил (силы тяжести, силы нормальной реакции и силы трения) равны нулю. В системе координат, показанной на рисунке, эти соотношения позволяют найти характеристики сил реакции, обеспечивающих равновесие:



$$\begin{cases} F_{mp} = mg \cdot \sin(\alpha) \\ N = mg \cdot \cos(\alpha) \\ b = \frac{a - h \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}{2} \end{cases}$$

(последнее соотношение означает, что точка приложения равнодействующей сил нормальной реакции совпадает с точкой, в которой линия действия силы тяжести пересекает площадь опоры – именно в таком случае суммарный момент трех сил относительно этой точки равен нулю). Брусок не будет скользить, пока $F_{mp} \leq \mu N \Rightarrow \alpha \leq \operatorname{arctg}(\mu) \approx 33^\circ$. Брусок не будет «кувиркаться», вращаясь вокруг нижнего ребра, пока $b \geq 0 \Rightarrow \alpha \leq \operatorname{arctg}(a/h) = 30^\circ$. Следовательно, равновесие бруска нарушится при достижении угла $\alpha = 30^\circ$, и при этом он начнет «кувиркаться», а не скользить.

ОТВЕТ: 30

Задача 4 (4 балла) [условия равновесия, сила тяжести, сила нормальной реакции, сила трения]

На горизонтальной поверхности лежит расправленный вдоль прямой линии тонкий однородный канат массой m . Один из его концов тянут (в направлении «от каната») с силой $F = mg$. Линия действия этой силы и канат находятся в одной вертикальной плоскости.

Найти максимальное значение угла $0 \leq \alpha < 90^\circ$ между линией действия силы и поверхностью, при котором канат не будет скользить по поверхности. Считать, что коэффициент трения между канатом и поверхностью $\mu = 4/3$ не зависит от того, какая часть каната соприкасается со столом. В качестве ответа укажите синус этого угла, записав его в виде правильной десятичной дроби.

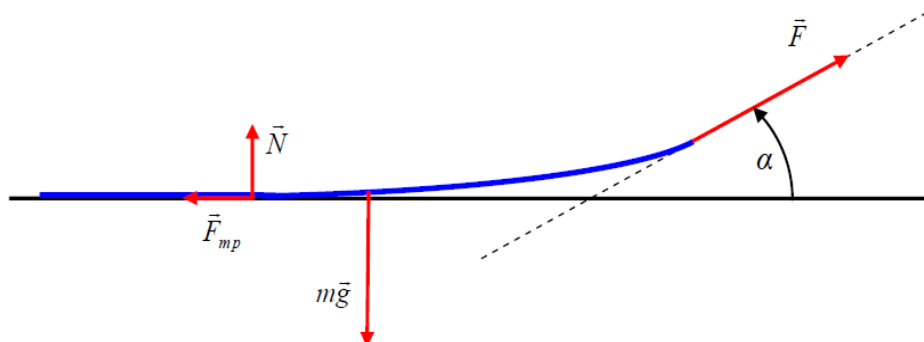
Подсказка 1: если канат не скользит, то векторная сумма внешних сил (силы тяжести, силы нормальной реакции поверхности, силы трения и силы F) равна нулю.

Подсказка 2: сила трения в состоянии покоя $|F_{mp}| \leq \mu N$.

Подсказка 3: Из двух первых подсказок следует, что в состоянии покоя $F \cos(\alpha) \leq \mu(mg - F \sin(\alpha))$.

Решение:

Условия равновесия сил, действующих на покоящийся канат, в проекции на горизонтальное и вертикальное направления, имеют вид (см. рисунок):



$$\begin{cases} F \cdot \cos(\alpha) - F_{mp} = 0 \\ F \cdot \sin(\alpha) + N - mg = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{mp} = F \cdot \cos(\alpha) \\ N = mg - F \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

Так как сила трения в состоянии покоя $|F_{mp}| \leq \mu N$, то $F \cos(\alpha) \leq \mu(mg - F \sin(\alpha))$. С учетом заданных в условии значений $F = mg$ и $\mu = 4/3$ получаем для угла наклона линии действия силы:

$$\frac{4}{5} \sin(\alpha) + \frac{3}{5} \cos(\alpha) \leq \frac{4}{5} \Rightarrow \sin(\alpha + \varphi) \leq \frac{4}{5}, \quad \text{где } \varphi \equiv \arcsin(3/5). \quad \text{Следовательно,}$$

$$\alpha_{\max} = \arcsin(4/5) - \arcsin(3/5). \quad \text{Соответственно } \sin(\alpha_{\max}) = \frac{4}{5} \cdot \frac{4}{5} - \frac{3}{5} \cdot \frac{3}{5} = \frac{7}{25} = 0,28. \quad \text{Отметим,}$$

что для $\alpha_{\max} < \alpha < 90^\circ$ неравенство $|F_{mp}| \leq \mu N$ не выполняется (то есть канат скользит), но при $\alpha = 90^\circ$ условия равновесия опять выполняются. При этом, естественно, $F_{mp} = N = 0$ — канат висит вертикально, оторвавшись от поверхности.

ОТВЕТ: 0,28.

Задача 5 (5 баллов) [условия равновесия, правило моментов]

На внутренней поверхности гладкой сферы лежит неподвижно невесомый стержень с маленькими шариками на концах. Угол наклона стержня к горизонтали $\alpha = 15^\circ$, стержень находится в вертикальной плоскости, проходящей через центр сферы. Длина стержня равна радиусу сферы. Найти отношение масс шариков. В ответе укажите отношение большей массы к меньшей с точностью до сотых.

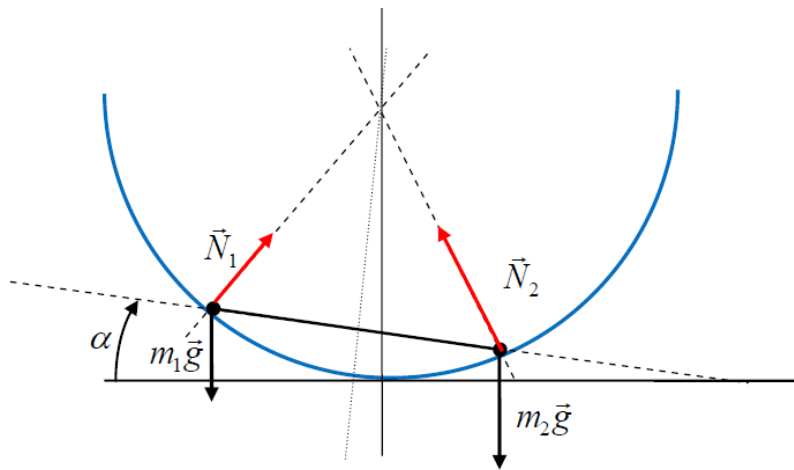
Подсказка 1: плечи сил нормальной реакции относительно центра сферы равны нулю.

Подсказка 2: поскольку треугольник, образованный стержнем и двумя радиусами, проведенными в точки размещения шариков, является равносторонним, то углы наклона этих радиусов к вертикали равны $30^\circ \pm \alpha$.

Подсказка 3: правило моментов относительно центра сферы имеет вид: $m_1 g \cdot R \sin(30^\circ + \alpha) - m_2 g \cdot R \sin(30^\circ - \alpha) = 0$.

Решение:

Проще всего записать условие равновесия моментов относительно центра сферической поверхности (плечи сил нормальной реакции равны нулю). Поскольку треугольник, образованный стержнем и двумя радиусами, является равносторонним, то углы наклона радиусов к вертикали равны $30^\circ \pm \alpha$ (см. рисунок).



Таким образом, правило моментов, записанное относительно центра сферы, имеет вид: $m_1 g \cdot R \sin(30^\circ + \alpha) - m_2 g \cdot R \sin(30^\circ - \alpha) = 0$. Из этого уравнения выражаем:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\sin(30^\circ + \alpha)}{\sin(30^\circ - \alpha)} = \frac{\sin(45^\circ)}{\sin(15^\circ)} = \sqrt{\frac{2}{2 - \sqrt{3}}} \approx 2,73.$$

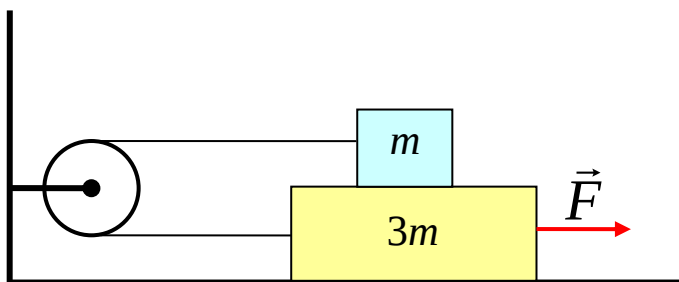
ОТВЕТ: 2,73.

Задача 6 (3 балла) [уравнения движения, кинематическая связь, равноускоренное движение]

Два бруска с массами $m = 500\text{г}$ и $3m$, соединенные перекинутой через идеальный блок невесомой нерастяжимой нитью, покоятся на горизонтальной поверхности (см. рисунок) Участки нити, не лежащие на блоке, горизонтальны. Известно, что коэффициенты трения

нижнего бруска о плоскость и между брусками одинаковы и равны $\mu = \frac{1}{3}$. С каким

ускорением начнет двигаться нижний брусок, если потянуть его вдоль поверхности от блока с силой $F = 12\text{Н}$? Ускорение свободного падения считать равным $g = 10\text{м/с}^2$, ответ выразить в м/с^2 .



Подсказка 1: если бруски движутся, силы трения равны своему максимальному значению: сила трения между брусками равна $F_1 = \mu m g$, а сила трения между нижним бруском и плоскостью $F_2 = \mu(m + 3m)g = 4\mu m g$.

Подсказка 2: следует записать уравнения движения брусков в проекции на горизонтальную ось и дополнить их уравнением связи, следующим из условия нерастяжимости нити.

Подсказка 3: Так как при любом смещении нижнего бруска при натянутой нити верхний смещается точно на такое же расстояние в противоположную сторону, то ускорения верхнего (a) и нижнего (A) брусков в проекции на горизонтальную ось связаны соотношением: $a = -A$.

Решение:

Если сила F достаточна для того, чтобы привести бруски в движение, силы трения будут равны своему максимальному значению: сила трения между брусками равна $F_1 = \mu m g$, а

сила трения между нижним бруском и плоскостью $F_2 = \mu(m+3m)g = 4\mu mg$. Запишем уравнения движения брусков в проекции на горизонтальную ось:

$$\begin{cases} ma = \mu mg - T \\ 3mA = F - T - 4\mu mg - \mu mg \end{cases}$$

(здесь A и a – ускорения нижнего и верхнего брусков, а T – сила натяжения нити). Кроме того, поскольку нить нерастяжима, ускорения брусков связаны уравнением кинематической связи $a = -A$. Подставляя его в первое из уравнений движения, выразим силу натяжения через A : $T = \mu mg + mA$. После этого из второго уравнения находим

$$A = \frac{F - 6\mu mg}{4m}.$$

При $F < 6\mu mg$ эта формула дает отрицательные значения ускорения, что физически бессмысленно. Очевидно, это означает, что при такой величине силы бруски не придут в движение из-за трения. В нашем случае $F > 6\mu mg = 10\text{Н}$. Поэтому ускорение нижнего

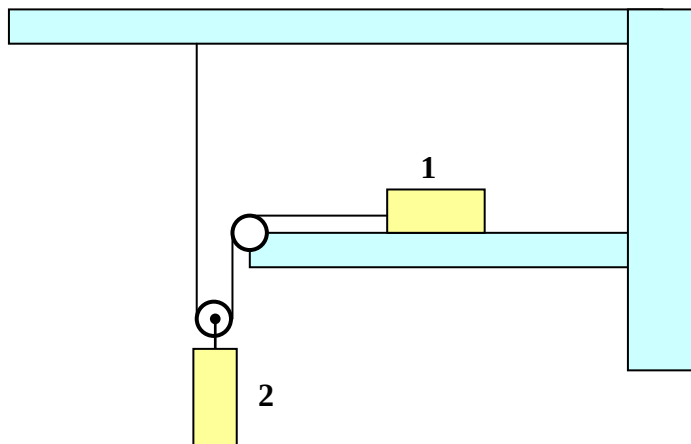
$$\text{бруска } A = \frac{F - 6\mu mg}{4m} = 1\text{м/с}^2.$$

Ответ: 1.

Задача 7 (4 балла) [уравнения движения, кинематическая связь, подвижный блок, неподвижный блок, равноускоренное движение]

Механическая система состоит из двух одинаковых грузов, двух легких гладких блоков и легкой нерастяжимой нити. Грузы удерживают в положении, показанном на рисунке. Поверхность, на которую помещен груз 1, горизонтальна, коэффициент трения между грузом и поверхностью $\mu = 0,3$. Участки нити, не лежащие на блоках, ориентированы горизонтально

либо вертикально. Найти ускорение груза 1. В ответе указать отношение $\frac{a_1}{g}$ в виде десятичной дроби.



Подсказка 1: следует записать уравнения движения грузов (для груза 1 – в проекции на горизонтальную ось, для груза 2 – в проекции на вертикальную ось) и дополнить их уравнением связи ускорений, следующим из условия нерастяжимости нити.

Подсказка 2: при натянутой нити смещение груза 1 «влево» на расстояние Δx_1 приводит к тому, что длина петли нити, в которой находится подвижный блок, увеличивается ровно на

$$\Delta x_1, \text{ и поэтому груз 2 смещается вниз на расстояние } \Delta x_2 = \frac{\Delta x_1}{2}.$$

Подсказка 3: ускорения грузов связаны соотношением $a_2 = \frac{a_1}{2}$.

Решение:

Обозначим T величину силы натяжения нити, которую можно считать одинаковой во всех точках нити. Запишем уравнения движения грузов: для груза 1 – в проекции на горизонтальную ось, для груза 2 – в проекции на вертикальную ось:

$$\begin{cases} ma_1 = T - \mu mg \\ ma_2 = mg - 2T \end{cases}$$

Заметим, что при смещении груза 1 «влево» на расстояние Δx_1 длина петли нити, в которой находится подвижный блок, увеличивается ровно на Δx_1 . Поскольку это удлинение распределится поровну между двумя сторонами петли, то при натянутой нерастяжимой нити груз 2 сместится вниз на расстояние $\Delta x_2 = \frac{\Delta x_1}{2}$. Поэтому ускорения грузов связаны

соотношением $a_2 = \frac{a_1}{2}$. Выражая из первого уравнения движения T и подставляя полученное выражение во второе вместе с уравнением связи, получаем:

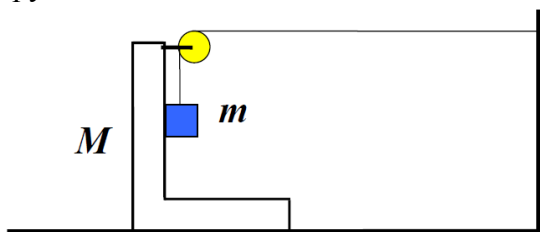
$$m \frac{a_1}{2} = mg - 2(ma_1 + \mu mg) \Rightarrow a_1 = \frac{2(1-2\mu)}{5} g.$$

Таким образом, $\frac{a_1}{g} = \frac{2(1-2\mu)}{5} = 0,16$. Полезно самостоятельно убедиться, что при таком ускорении нить действительно натянута, то есть $T > 0$.

Ответ: 0,16.

Задача 8 (5 баллов) [нерастяжимая нить, идеальный блок, кинематическая связь]

Найти ускорение рамы массы $M = 450$ г в системе, показанной на рисунке. Трение между грузом массы $m = 200$ г и рамой отсутствует. Блок – идеальный, нить нерастяжима и невесома. Коэффициент трения между рамой и горизонтальной поверхностью $\mu = 0,25$. Ускорение свободного падения принять равным $g \approx 10$ м/с². Ответ выразить в см/с², округлив до целых.



Подсказка 1: в уравнениях движения рамы вдоль горизонтальной оси x и груза – вдоль x и вертикальной направленной вниз оси y содержатся четыре силы реакции: натяжения нити T и нормальной реакции рамы N , нормальной реакции поверхности N' и сила трения, которая при движении рамы равна $\mu N'$.

Подсказка 2: компоненты ускорения груза и ускорение рамы связаны уравнением $a_x = a_y = A$.

Подсказка 3: сила натяжения нити $T = m(g - A)$, сила нормальной реакции рамы $N = mA$, сила трения $F_{mp} = \mu[Mg + m(g - A)]$.

Решение:

Направим ось x горизонтально «влево», а ось y – вертикально вниз. Запишем уравнения движения рамы вдоль x и груза – вдоль x и y :

$$\begin{cases} MA = T - N - F_{mp} \\ ma_x = N \\ ma_y = mg - T \end{cases}$$

(T - сила натяжения нити, N - сила нормальной реакции рамы, действующая на груз) и учтем, что при движении рамы (то есть при $A > 0$) сила трения скольжения $F_{mp} = \mu(Mg + T)$. Заметим также, что при смещении рамы на расстояние ΔX груз должен сместиться по обеим осям ровно на такое же расстояние: поскольку груз прижат к вертикальной поверхности рамы, то $\Delta x = \Delta X$, поскольку длина нити неизменна, то $\Delta y = \Delta X$. Следовательно, уравнения кинематической связи имеют вид $a_x = a_y = A$. С учетом этого находим, что $T = m(g - A)$, $N = mA$, $F_{mp} = \mu[Mg + m(g - A)]$. Подставив эти соотношения в уравнение движения рамы, найдем:

$$MA = m(g - 2A) - \mu[Mg + m(g - A)] \Rightarrow [M + (2 - \mu)m]A = [m - \mu(M + m)]g,$$

то есть $A = \frac{m - \mu(M + m)}{M + (2 - \mu)m} g \approx 0,47 \text{ м/с}^2$.

Отметим, что ускорение рамы получилось положительным, то есть при значениях параметров системы, заданных в условии, рама действительно движется.

ОТВЕТ: 47.

Задача 9 (4 балла) [закон всемирного тяготения, центростремительное ускорение, уравнения движения]

Астрономы обнаружили в просторах Космоса тройную систему (то есть систему из трех близко расположенных звезд, удерживаемых рядом силами тяготения) с интересным свойством: они вращаются вокруг общего центра с постоянным периодом $T = 16$ лет, образуя в пространстве равносторонний треугольник с неизменной стороной $a = 12$ а.е. (1 а.е. – это астрономическая единица длины, примерно равная радиусу орбиты Земли). Во сколько раз суммарная масса этой системы превышает массу Солнца?

Подсказка 1: симметрия системы позволяет утверждать, что массы все трех ее звезд одинаковы (иначе она не сохраняла бы форму равностороннего треугольника).

Подсказка 2: центростремительное ускорение каждой звезды создается равнодействующей

сил ее притяжения двум другим «звездам-компаньонам», равной $F = 2 \frac{GM^2}{a^2} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \frac{GM^2}{a^2}$

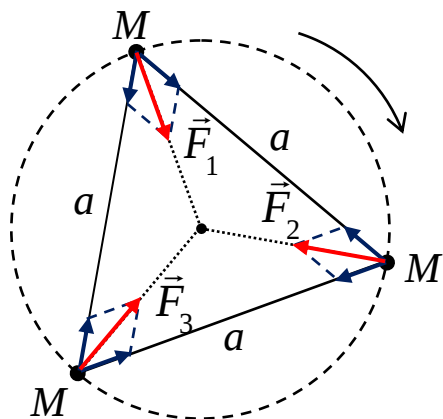
. то есть $M \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{a}{\sqrt{3}} = 2 \frac{GM^2}{a^2} \frac{\sqrt{3}}{2}$.

Подсказка 3: из уравнения для центростремительного ускорения звезды $M \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{a}{\sqrt{3}} = F$ и

аналогичного уравнения для центростремительного ускорения Земли, вращающейся вокруг Солнца, можно выразить массы звезд в системе и массу Солнца через радиусы орбит и периоды обращения.

Решение:

Удивительная симметрия системы позволяет утверждать, что массы все трех ее звезд одинаковы (иначе она не сохраняла бы форму равностороннего треугольника).



В случае же равных масс равнодействующая сил притяжения каждой звезды к двум другим «звездам-компаньонам» направлена по радиусу и одновременно – по биссектрисе своего угла (ясно, что центром вращения является центр треугольника, поэтому радиус вращения равен $\frac{a}{\sqrt{3}}$). Пусть M – масса каждой из звезд системы. Тогда равнодействующая сил

притяжения одной из звезд к двум другим «звездам-компаньонам» равна $F_1 = F_2 = F_3 = 2 \frac{GM^2}{a^2} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \frac{GM^2}{a^2}$. Значит, уравнение движения для центростремительной компоненты ускорения имеет вид:

$M\omega^2 \frac{a}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \frac{GM^2}{a^2} \Rightarrow GM = \frac{4\pi^2 a^3}{3T^2}$ (здесь $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – угловая скорость вращения звезд в системе). Для Земли, вращающейся вокруг Солнца (массу которого обозначим M_C) по орбите радиусом $R=1$ а.е. с периодом $\tau=1$ год из аналогичного уравнения получим: $m\omega^2 R = \frac{GM_C m}{R^2} \Rightarrow GM_C = \frac{4\pi^2 R^3}{\tau^2}$. Таким образом:

$$\frac{3M}{M_C} = \left(\frac{a}{R}\right)^3 \cdot \left(\frac{\tau}{T}\right)^2 = \frac{12^3}{16^2} = 6,75.$$

ОТВЕТ: 6,75.

Задача 10 (4 балла) [движение по окружности, центростремительное ускорение, уравнение движения]

Спутник вращается вокруг Земли по круговой орбите, радиус которой в два раза больше радиуса Земли. На эту же орбиту в точке, лежащей на противоположном от спутника конце диаметра, выходит космический корабль с включенным двигателем. Не сходя с орбиты и двигаясь с постоянной по модулю скоростью, он догоняет спутник за время, равное половине периода обращения спутника. Найти силу тяги двигателя корабля во время «погони». Массу корабля считать примерно постоянной и равной $m=4$ тонны, ускорение свободного падения на поверхности Земли считать равным $g=10$ м/с², ответ выразить в кН.

Подсказка 1: величина ускорения спутника на этой круговой орбите

$$a_c = \frac{F_c}{m_c} = \frac{GM}{r^2} = \frac{GM}{4R^2} = \frac{g}{4}.$$

Подсказка 2: за время погони спутник проходит половину длины окружности орбиты, а корабль – всю длину окружности орбиты.

Подсказка 3: скорость движения корабля по той же орбите в два раза больше скорости спутника, и поэтому его ускорение $a = 4a_c = g$.

Решение:

На круговой орбите спутник вращается с постоянной по модулю скоростью, и его ускорение имеет только центростремительную компоненту, создаваемую силой притяжения Земли. В соответствии со вторым законом Ньютона и законом всемирного тяготения величина этого ускорения

$$a_c = \frac{F_c}{m_c} = \frac{GM}{r^2} = \frac{GM}{4R^2} = \frac{g}{4}$$

(здесь m_c – масса спутника, F_c – сила его притяжения к Земле, а M и R – масса и радиус Земли соответственно). По условию корабль догоняет спутник за половину периода обращения спутника. Таким образом, за время погони спутник проходит половину длины окружности орбиты, а корабль – всю длину окружности орбиты (в начале погони он «отставал» на половину этой длины). Поэтому скорость движения корабля в два раза больше скорости спутника: $v = 2v_c$. Корабль движется с постоянной по модулю скоростью, и его

центростремительное ускорение $a = \frac{v^2}{r} = 4\frac{v_c^2}{r} = 4a_c = g$. Оно создается равнодействующей силы тяги двигателя и силы притяжения Земли. Поэтому сила тяги во время погони должна быть направлена к центру Земли, причем в соответствии с уравнением движения

$$ma = F + \frac{GMm}{r^2} = F + \frac{mg}{4} \Rightarrow F = \frac{3}{4}mg = 30 \text{ кН}.$$

Ответ: 30.