

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН В ЛЕТНЮЮ ШКОЛУ ФИЗИКА
июнь 2012 года
РАЗБОР ЗАДАНИЙ

1. «Путь часового»

Часовой охраняет орудие, установленное на платформе поезда. Он совершает обход платформы по периметру с постоянной скоростью $U = 1 \frac{м}{с}$, начиная из угла А. Длина платформы 10 метров, ширина 3 метра. Поезд движется со скоростью



$V = 18 \frac{км}{ч}$. Изобразить траекторию часового а) относительно платформы; б) относительно земли. Чтобы решить задачу, ответьте на вспомогательные вопросы:

► Сколько времени будет идти человек из угла А в угол В платформы? На какое расстояние переместится платформа за это время? На какое расстояние переместится человек относительно земли, пока идёт из угла А в угол В?

Скорость человека относительно платформы равна $U = 1 \frac{м}{с}$, поэтому расстояние АВ часовой проходит за время

$$t_{AB} = \frac{AB}{U}; t_{AB} = \frac{10}{1} = 10 \text{ с.}$$

За это время платформа относительно земли сместится на расстояние $S = V \cdot t_{AB}; S = 5 \cdot 10 = 50 \text{ м.}$

Так как человек и платформа движутся в одном направлении, то перемещение человека относительно земли равно

$$L_0 = S + AB; L_0 = 10 + 50 = 60 \text{ м.}$$

► Сколько времени будет идти человек из угла В в угол С платформы? На какое расстояние переместится платформа за это время? На какое расстояние переместится человек относительно земли, пока идёт из угла В в угол С?

Скорость человека относительно платформы равна $U = 1 \frac{м}{с}$, поэтому расстояние ВС часовой проходит за время

$$t_{BC} = \frac{BC}{U}; t_{BC} = \frac{3}{1} = 3 \text{ с.}$$

За это время платформа относительно земли сместится на расстояние $d = V \cdot t_{BC}; d = 5 \cdot 3 = 15 \text{ м.}$

При этом человек по платформе движется в направлении, перпендикулярном тому, в котором движется платформа по земле, поэтому относительно земли человек переместится на расстояние

$$L = \sqrt{AB^2 + d^2}; \quad L = \sqrt{3^2 + 15^2} = 15,5 \text{ м.}$$

► Сколько времени будет идти человек из угла С в угол D платформы? На какое расстояние переместится платформа за это время? На какое расстояние переместится человек относительно земли, пока идёт из угла С в угол D?

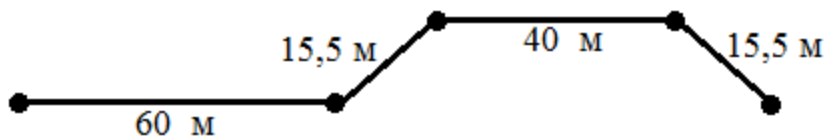
Из угла С в угол D часовой будет двигаться столько же, сколько из угла А в угол В, то есть 10 секунд. За это время платформа относительно земли пройдёт 50 метров. Так как человек идёт «назад», то есть против хода движения платформы, а платформа движется «вперёд», то человек относительно земли пройдёт $50 - 10 = 40$ метров в направлении движения платформы.

► Сколько времени будет идти человек из угла D в угол А платформы? На какое расстояние переместится платформа за это время? На какое расстояние переместится человек относительно земли, пока идёт из угла D в угол А?

Участок DA аналогичен участку BC.

► Нарисуйте траекторию часового относительно платформы и относительно земли.

Траектория часового относительно платформы – это прямоугольник ABCDA. Траектория человека относительно Земли представлена на рисунке.



2. «Доска и шарик»

Доска начинает свободно падать, оставаясь в вертикальном положении. В тот же момент вдоль её поверхности горизонтально бросили красящий шарик. Какую линию прочертит он на доске?

Чтобы решить задачу, ответьте на вспомогательные вопросы:

► Как движется доска относительно земли (горизонтальная, вертикальная составляющие скорости, ускорение)?

Так как доска падает свободно, то горизонтальная составляющая скорости доски равна $V_x = 0$, вертикальная составляющая направлена вниз и увеличивается с течением времени $V_y(t) = -gt$ (ось ОУ направлена вертикально вверх), ускорение равно ускорению свободного падения.

► Как движется шарик относительно земли (горизонтальная, вертикальная составляющие скорости, ускорение)?

Так как шарик участвует в двух движениях: горизонтально движется, скорость такого движения обозначим U (возможно из-за трения на уменьшается, но будет этим пренебрегать) и кроме того падает свободно, то горизонтальная составляющая скорости шарика равна U , вертикальная составляющая направлена вниз и увеличивается с течением времени $V_y(t) = -gt$ (ось ОУ направлена вертикально вверх), ускорение равно ускорению свободного падения.

► Как движется шарик относительно доски? Какую линию прочертит он на доске?

Таким образом, шарик относительно доски движется горизонтально и прочертит на ней горизонтальную линию.

3. «Водопад»

Гибралтарский пролив образовался всего около 5 миллионов лет назад, и возникший тогда гигантский водопад начал заполнять бассейн Средиземного моря водой из Атлантического океана. Каждую секунду с высоты 800 метров низвергался один миллион кубометров воды.

► Считая, что вода падает только под действием силы тяжести, определите время падения воды с высоты водопада.

Время свободного падения тела с высоты h определяется выражением

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 800}{10}} = 12,7 \text{ с.}$$

► Определите изменение потенциальной энергии падающей за 1 секунду воды. За 1 секунду с высоты 800 метров упал объём воды 10^6 м^3 , которые имеют массу 10^9 кг , изменение (уменьшение) потенциальной энергии этой массы воды равно

$$\Delta U = -10^9 \cdot 10 \cdot 800 = -8 \cdot 10^{12} \text{ Дж.}$$

► Во сколько раз мощность этого «сверхводопада» больше мощности крупной современной гидроэлектростанции ($8 \cdot 10^9 \text{ Вт}$).

Так как энергия поменялась на величину ΔU (сила тяжести совершила работу) за время t , то мощность этого «сверхводопада» равна

$$N = \frac{|\Delta U|}{t}; \quad N = \frac{8 \cdot 10^{12}}{12,7} = 6,3 \cdot 10^{11} \text{ Вт.}$$

Мощность нашего «сверхводопада» больше мощности современной гидроэлектростанции в

$$k = \frac{6,3 \cdot 10^{11}}{8 \cdot 10^9} \approx 78 \text{ раз.}$$

4. «Сила трения»

Чтобы сдвинуть с места тело массой $M = 2 \text{ кг}$ к нему несколько раз приложили силы, параллельные поверхности стола. При этом было обнаружено, что: а) при силе $F_1 = 4 \text{ Н}$ тело покоится; б) при силе $F_2 = 5 \text{ Н}$ тело движется равномерно. Определить:

► силу трения в случае а);

Так как тело покоится, то сила трения покоя равна 4 Н .

► силу трения в случае б);

Так как тело движется равномерно, то сила трения скольжения равна $F_{тр}^{ск} = F_2 = 5 \text{ Н}$.

► коэффициент трения скольжения тела по столу k ;

Так как сила трения скольжения связана с силой нормальной реакции опоры N соотношением

$$F_{mp}^{ck} = kN,$$

а на горизонтальной опоре $N = mg$, то

$$k = \frac{F_2}{mg}; \quad k = \frac{5}{20} = 0,25.$$

► ускорение тела в случае, если к телу будет приложена сила $F = 7$ Н.

Если к телу приложена сила F , то ускорение тела определяется вторым законом Ньютона

$$ma = F - F_{mp}^{ck};$$

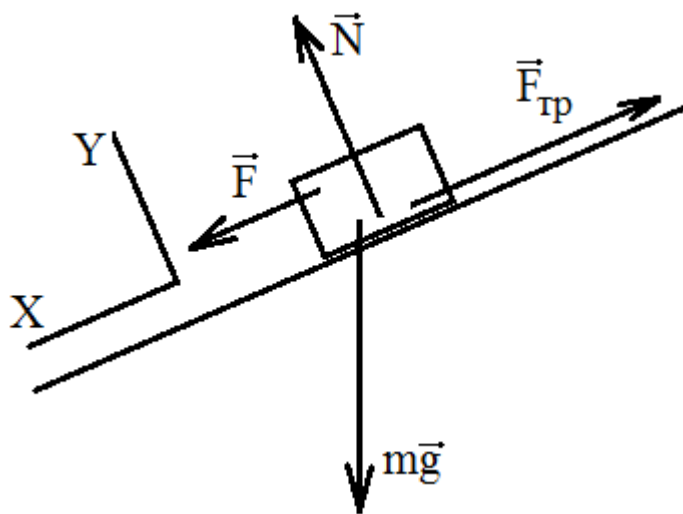
$$a = \frac{F}{m} - kg; \quad a = \frac{7}{2} - 0,25 \cdot 10 = 3,5 - 2,5 = 1 \frac{м}{с^2}.$$

5. «Наклонная плоскость»

На тело массы m , покоившееся на наклонной плоскости с углом наклона к горизонту α , в течение времени Δt действует сила F , направленная вниз по наклонной плоскости. Коэффициент трения скольжения равен k .

► При каком условии тело не будет двигаться?

Тело не будет двигаться, если максимальная сила трения покоя будет больше суммы силы F и составляющей силы тяжести, направленной вдоль наклонной плоскости.



► Сделайте чертёж, расставьте силы, действующие на тело. Назовите силы.

На тело действуют сила тяжести mg , сила F , сила нормальной реакции опоры N , сила трения, направленная вверх по наклонной плоскости и препятствующая движению тела.

► Запишите второй закон Ньютона для тела.

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{mp}.$$

В проекциях на оси OX и OY второй закон Ньютона имеет вид

$$ma = mg \sin \alpha + F - F_{mp};$$

$$0 = N - mg \cos \alpha.$$

Сила трения равна

$$F_{mp} = kN = kmg \cos \alpha.$$

► Чему равно ускорение тела?

$$a = g \sin \alpha + \frac{F}{m} - kg \cos \alpha.$$

Тело покоится, если выполняется условие

$$g \sin \alpha + \frac{F}{m} \leq kg \cos \alpha.$$

► Какой путь пройдёт тело за время Δt ?

За время Δt тело пройдёт путь

$$S = \frac{a \cdot \Delta t^2}{2}.$$

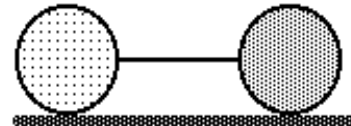
► Какова будет скорость тела в конце этого промежутка времени?

Скорость тела спустя промежуток времени Δt будет равна

$$V = a \cdot \Delta t.$$

6. «Два шара»

Два шара, соединённые невесомой нерастяжимой нитью, лежат на гладком горизонтальном столе. У правого шара масса больше в $k = 5$ раз. С одной и той же силой сначала тянут правый шар вправо, затем левый – влево.



► Во сколько раз отличаются силы натяжения нити в обоих случаях?

Если сила F действует на правый шар, то второй закон Ньютона для тел имеет вид

$$kma = F - T;$$

$$ma = T.$$

Отсюда сила натяжения равна

$$T = \frac{Fm}{m(k+1)} = \frac{F}{k+1}.$$

Если же сила F действует на левый кубик, то уравнения имеют вид

$$ma = F - T';$$

$$kma = T'.$$

Сила натяжения теперь равна

$$T' = \frac{Fkm}{m(1+k)} = \frac{Fk}{1+k}.$$

Отношение сил натяжения равно

$$\frac{T'}{T} = k.$$

7. «Железный кубик»

Кубик с ребром 10 см имеет массу 1400 грамм. Он изготовлен из железа.

Плотность железа равна $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

► Что можно узнать по этим данным?

Объём кубика равен $V = a^3$; $V = 0,1^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$. Если бы он был сплошным, то его масса была бы равна $\rho V = 7,8 \cdot 10^6 \text{ кг}$. На самом деле масса кубика меньше, поэтому внутри него имеется полость. Объём полости определить несложно:

объём железа равен $V_{Fe} = \frac{m}{\rho}$; $V_{Fe} = \frac{1,4}{7,8 \cdot 10^3} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, следовательно, объём

полости равен объём куба минус объём железа $V_{пол} = V - V_{Fe} = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$.

► Поставьте как можно больше вопросов и ответьте на них.

► Предложите способ экспериментального определения плотности кубика. В вашем распоряжении имеется сосуд с водой, размеры которого больше 10 см, с прозрачными стенками и линейка.

Ответы на два последних вопроса могут быть различными, оценивается то, что написано в работе.

8. «Плот»

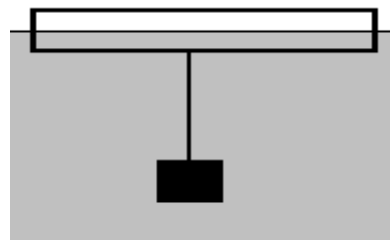
В озере плавает деревянный плот прямоугольной формы массой M объёма V . К пего дну привязан на верёвке груз массы m . Объём плота в $k = 10$ раз превышает объём груза.

► Определить максимальную массу груза, при которой плот не будет тонуть.

На плот действуют силы: тяжести и натяжения нити, направленные вниз, сила Архимеда, направленная вверх. Если груза, мы определяем максимальную массу груза, то плот будет погружён полностью, поэтому сила Архимеда определяется объёмом плота, тогда

$$\text{плот: } F_{\text{арх}} = Mg + T;$$

$$\text{груз: } f_{\text{Арх}} + T = mg .$$



Так как силы Архимеда равны $F_{\text{Арх}} = \rho g V$; $f_{\text{Арх}} = \frac{\rho g V}{k}$, то максимальная масса груза равна

$$m = \frac{k+1}{k} \rho V - M = \frac{11}{10} \rho V - M .$$

► Какие изменения произойдут, если верёвку вытянуть из воды, и груз положить на плот?

Если груз положить на плот, то сила Архимеда, действующая на него исчезнет, таким образом, глубина погружения плота должна увеличиться. Если же груз будет иметь максимальную массу, то плот утонет.

9. «Чайник»

Железный чайник содержит 0,5 литра кипятка. Масса чайника 1 кг. Через 15 минут вода в чайнике остыла до 70°C . Удельная теплоёмкость воды

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}, \text{ удельная теплоёмкость железа } c_{\text{ж}} = 450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

► Какое количество теплоты при этом было передано окружающей среде?

При остывании чайник и вода в нём отдадут окружающей среде количество теплоты

$$Q = (c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} + c_{\text{в}} m_{\text{в}}) \cdot \Delta t;$$

$$Q = 76,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

10. «Провод»

Нужно изготовить провод длиной 100 м и сопротивлением 1 Ом. Его можно сделать либо из меди, либо из алюминия. Плотность меди $8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, алюминия

$2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, удельное сопротивление меди $0,017 \frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2 \cdot \text{м}}$, удельное сопротивление

алюминия $0,028 \frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2 \cdot \text{м}}$.

► В каком случае провод получится легче: если его сделать из меди или из алюминия? Во сколько раз?

Так как сопротивление провода связано с длиной L и площадью поперечного сечения S соотношением

$$R = r \frac{L}{S},$$

где r – удельное сопротивление материала провода, то площадь равна

$$S = r \frac{L}{R}.$$

Определим объём провода V длиной $L = 100$ м и площадью поперечного сечения S

$$V = SL; \quad V = r \frac{L^2}{R}.$$

Масса провода равна

$$m = \rho V = \rho r \frac{L^2}{R}.$$

Посчитаем массу медного провода

$$m_{\text{Cu}} = \frac{\rho_{\text{Cu}} r_{\text{Cu}} L^2}{R};$$

алюминиевого провода

$$m_{\text{Al}} = \frac{\rho_{\text{Al}} r_{\text{Al}} L^2}{R}.$$

Отношение масс равно

$$\frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{Al}}} = \frac{\rho_{\text{Cu}} r_{\text{Cu}}}{\rho_{\text{Al}} r_{\text{Al}}} = \frac{8900 \cdot 0,017}{2700 \cdot 0,028} = 2.$$

В два раза легче алюминиевый провод.

► Во сколько раз будут отличаться сопротивления?

Сопротивления будут одинаковы.