

## Физика

### Механика

## פיזיקה

### מכניקה

#### Указания

א. Продолжительность экзамена: два часа.

ב. Строение вопросника и ключ к оценке:

В этом вопроснике шесть вопросов, вы должны ответить только на три из них.

За каждый вопрос –  $33\frac{1}{3}$  балла;  $3 \times 33\frac{1}{3} = 100$  баллов

в. Разрешенный вспомогательный материал:

1. Калькулятор без графического дисплея. Нельзя пользоваться возможностями программирования, если они есть в калькуляторе.
2. Формулы и данные (прилагаются).
3. Двухязычный словарь.

г. Особые указания:

1. Ответьте только на три вопроса. Если вы ответите более чем на три вопроса, будут проверены только первые три ответа в вашей тетради. Четко отметьте номер выбранного вопроса и пункта.
2. При решении вопросов, требующих вычислений, запишите следующие этапы: запись математических выражений в том виде, в котором они представлены в приложенном листе формул и данных, математическое преобразование и изменение искомого формулы в соответствии с задачей, подробная запись данных в полученном выражении, запись результатов вычислений посредством десятичной дроби с необходимым для задачи количеством цифр после десятичного знака и в соответствующих единицах измерения.
3. Графики должны быть размером не менее, чем в полстраницы. Прямые линии на графиках чертите с помощью линейки.
4. Когда требуется представить величину с помощью данных вопроса, запишите математическое выражение, включающее данные вопроса или их часть; при необходимости можно также пользоваться основными константами из таблицы на листе формул и данных или значением ускорения свободного падения  $g$ .
5. В своих вычислениях используйте значение  $10 \text{ m/s}^2$  как  $g$  – ускорение свободного падения (вблизи Земли).
6. Пишите свои ответы ручкой. Карандаш можно использовать только для чертежей и графиков.
7. Если вы допустили ошибку, достаточно зачеркнуть двумя линиями неправильные слова или предложения.

יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום "טיוטה" בראש כל עמוד המשמש טיוטה. כתיבת טיוטה בדפים שאינם במחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה.

Пишите только в экзаменационной тетради. Напишите слово «טייטה» в начале каждой страницы, отведенной вами под черновик. Выполнение любых черновых записей на листах, не относящихся к экзаменационной тетради, может привести к тому, что экзамен

#### הוראות

א. משך הבחינה: שעתיים.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה:

בשאלון זה שש שאלות, ומהן יש לענות על שלוש שאלות בלבד.

לכל שאלה –  $33\frac{1}{3}$  נקודות;  $3 \times 33\frac{1}{3} = 100$  נקודות

ג. חומר עזר מותר בשימוש:

- (1) מחשבון לא גרפי. אין להשתמש באפשרויות התכנות במחשבון שיש בו אפשרות תכנות.
- (2) דפי נוסחאות ונתונים (מצורפים).
- (3) מילון עברי-לועזי/לועזי-עברי.

ד. הוראות מיוחדות:

- (1) יש לענות על שלוש שאלות בלבד. אם תענו על יותר משלוש שאלות, ייבדקו רק שלוש התשובות הראשונות שבמחברת. יש לציין באופן ברור את מספר השאלה והסעיף שבחרתם.
- (2) בשאלות שבפתרון שלהן נדרש חישוב, יש להציג את השלבים האלה:  
רישום הביטוי המתמטי כפי שהוא כתוב בדפי הנוסחאות והנתונים המצורפים, פיתוח מתמטי ושינוי נושא נוסחה בהתאם לבעיה, הצגה מפורשת של הנתונים בביטוי שהתקבל, הצגת תוצאות החישוב באמצעות שבר עשרוני ובו מספר סביר של ספרות משמעותיות ויחידות המדידה המתאימות.
- (3) את הגרפים יש לסרטט בגודל של חצי עמוד לפחות. יש להשתמש בסרגל לסרטוט קווים ישרים.
- (4) כאשר נדרשים להביע גודל באמצעות נתוני השאלה, יש לרשום ביטוי מתמטי הכולל את נתוני השאלה או את חלקם; במידת הצורך אפשר להשתמש גם בקבועים בסיסיים מתוך הטבלה שבדפי הנוסחאות והנתונים או בגודל תאוצת הנפילה החופשית  $g$ .
- (5) בחישובים יש להשתמש בערך  $10 \text{ m/s}^2$  לגודל של  $g$  – תאוצת הנפילה החופשית (בסמוך לפני כדור הארץ).
- (6) יש לכתוב את התשובות בעט. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים וגרפים בלבד.
- (7) במקרה של טעות, אפשר להסתפק בהעברת קו חוצה כפול על המילים או המשפטים השגויים.

## Вопросы

Ответьте на три из вопросов 1–6.

(За каждый вопрос –  $33\frac{1}{3}$  балла; число баллов за каждый пункт вопроса указано в его конце).

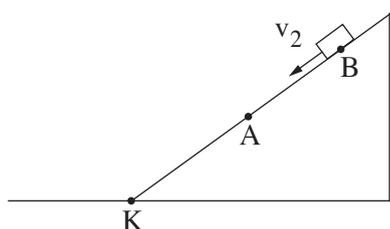
1. Проводят два опыта с небольшим телом и гладкой наклонной плоскостью. Нижняя точка наклонной плоскости обозначена буквой К, как показано на чертеже 1.

В первом опыте тело удерживают в состоянии покоя на наклонной плоскости в точке А.

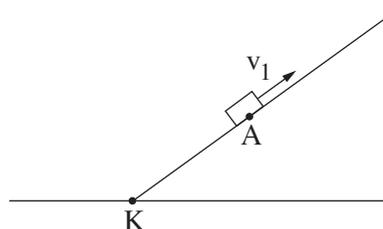
В определенный момент времени телу придают начальную скорость величиной  $v_1$  в направлении вверх по плоскости (смотрите чертеж 1 – первый опыт).

Во втором опыте тело удерживают в состоянии покоя на наклонной плоскости в точке В.

В определенный момент времени телу придают начальную скорость величиной  $v_2$  в направлении вниз по плоскости (смотрите чертеж 1 – второй опыт).

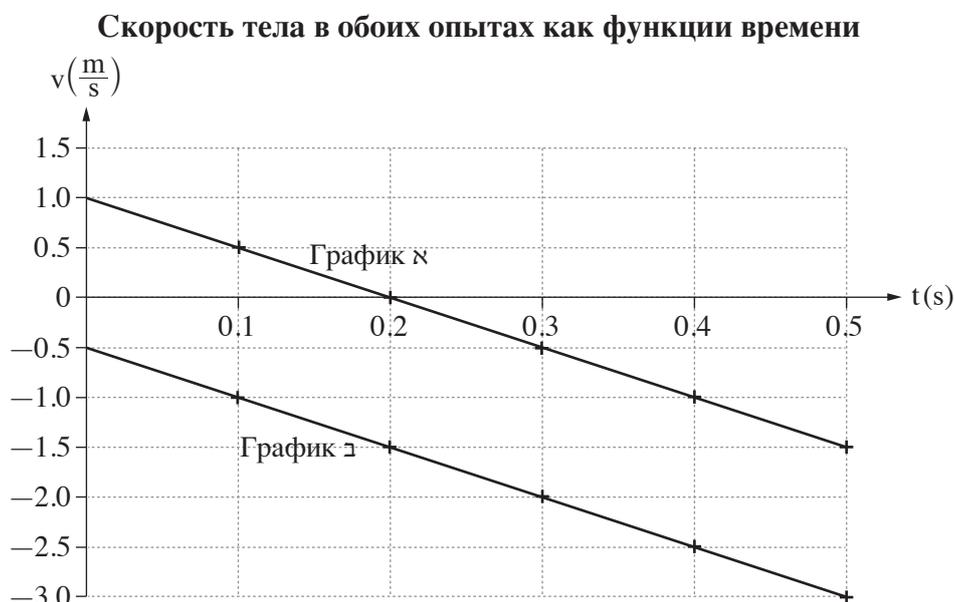


Чертеж 1 – второй опыт



Чертеж 1 – первый опыт

Графики  $v-t$  на чертеже 2 описывают скорость данного тела в каждом из опытов в первые полсекунды движения.  $t = 0$  – это момент начала движения тела в каждом из опытов.



Чертеж 2

( $\times$ ) Определите, положительное направление скорости – это направление вверх по наклонной плоскости или вниз по наклонной плоскости. Обоснуйте свой ответ. (6 баллов)

**Обратите внимание:** продолжение вопроса на следующей странице.

В первом опыте тело достигло точки К (нижняя точка наклонной плоскости) в момент времени  $t = 0.5s$ .

(а) Вычислите расстояние между самой высокой точкой, которой достигло тело в первом опыте, и точкой К. (7 баллов)

(б) Вычислите расстояние АК. (7 баллов)

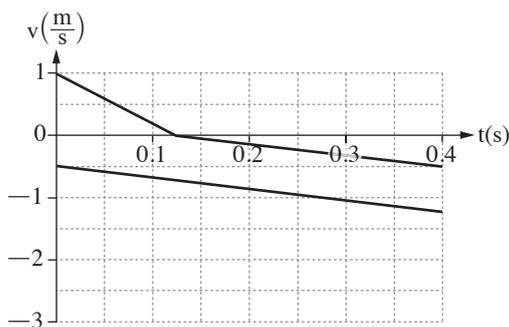
Во втором опыте тело достигло точки К в момент времени  $t = 0.62s$ .

(в) Вычислите АВ (расстояние между местонахождением тела в момент начала движения в каждом из опытов). (8 баллов)

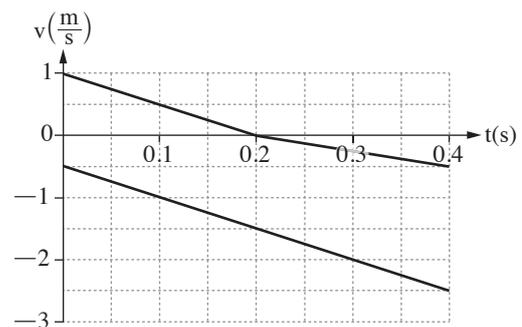
Повторяют оба опыта в системе, аналогичной системе, описанной на чертеже 1, но на этот раз между телом и наклонной плоскостью есть трение.

Один из приведенных чертежей  $v-t$  верно описывает скорость в ходе обоих этих опытов как функцию времени для части времени движения.

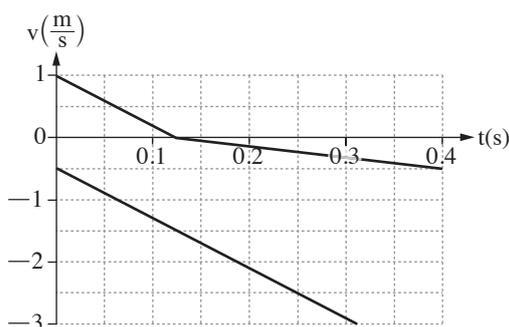
(г) Определите, какой из чертежей  $v-t$  верно описывает движение тела под воздействием трения в ходе этих двух дополнительных опытов. Обоснуйте свой ответ. ( $5\frac{1}{3}$  балла)



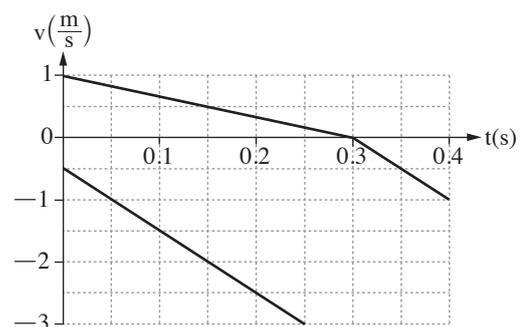
Чертеж а



Чертеж б



Чертеж в



Чертеж г

2. Два тела, А и В, массы которых  $m_A$  и  $m_B$  соответственно, связаны друг с другом нитью, как показано на чертеже 1.

На тело А действует внешняя сила  $F_1$ , направленная вертикально вверх, величина которой может изменяться.

На нити, которая соединяет два этих тела, установлен датчик силы, который измеряет силу натяжения нити.

На протяжении всего вопроса предположите, что массой нити, массой датчика и силами трения, действующими на тела, можно пренебречь.

Направление вверх определено как положительное направление вертикальной оси.

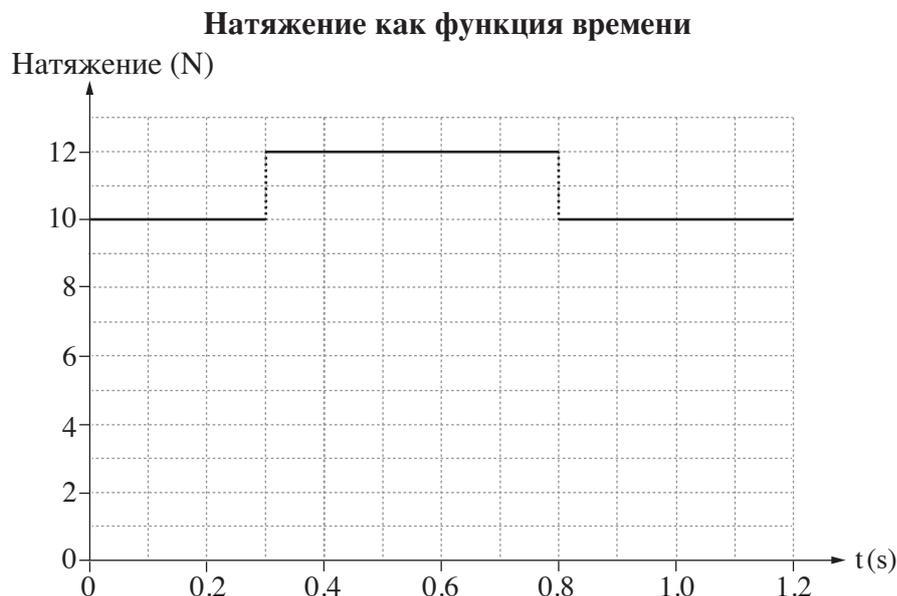


Чертеж 1

- (а) Начертите в тетради силы, действующие на тело А, и силы, действующие на тело В. Рядом с каждой силой напишите ее название и ее источник [מה מפעיל אותה] (рядом с силой  $F_1$  напишите «внешняя сила» [”כוח חיצוני”]). (4 балла)
- (б) Напишите уравнение сил для каждого из двух данных тел и выведите с его помощью выражение для ускорения системы как функции параметров  $F_1$ ,  $m_A$ ,  $m_B$  и известных физических констант. (6 баллов)

Ниже приведен график, описывающий силу натяжения нити, которую измеряет датчик, как функцию времени, с момента времени  $t = 0$  и до момента времени  $t = 1.2\text{s}$ .

Напоминаем, что величина силы  $F_1$  не обязательно постоянна.



**Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.**

Дано, что до момента времени  $t = 0.3\text{s}$  система находилась в состоянии покоя. Масса тела А  $m_A = 3\text{ kg}$ .

- (а) С помощью графика вычислите  $m_B$ , массу тела В. (5 баллов)
- (т) С помощью графика вычислите величину внешней силы  $F_1$  в течение каждого из периодов времени, показанных на графике:  $0 < t < 0.3\text{s}$ ,  $0.3\text{s} < t < 0.8\text{s}$ ,  $0.8\text{s} < t < 1.2\text{s}$ . (8 баллов)
- (н) Для каждого из двух следующих периодов времени,  $0.3\text{s} < t < 0.8\text{s}$  и  $0.8\text{s} < t < 1.2\text{s}$ , определите тип движения (покой, равномерное движение, ускоренное движение) и объясните свои ответы. (6 баллов)

После выполнения этих измерений провели с помощью данной системы два опыта:

В первом опыте на систему действовали с определенной силой  $F_1$  и выяснили, что ускорение системы  $a_1 \neq 0$ , направленное вверх (смотрите чертеж 2а).

Во втором опыте тело В и датчик силы отсоединили от нити, а на нижний конец тела А действовали с силой  $F_2$ , направленной вертикально вниз, в дополнение к силе  $F_1$ , которая идентична силе из первого опыта (смотрите чертеж 2б).

Провели измерения и обнаружили, что и во втором опыте ускорение было  $a_1$  (направленное вверх).



Чертеж 2а



Чертеж 2б

- (и) Определите, какое высказывание из высказываний 1–4 верно, и обоснуйте свой ответ. (4  $\frac{1}{3}$  балла)
1.  $F_2 < m_B g$
  2.  $F_2 = m_B g$
  3.  $F_2 > m_B g$
  4. Невозможно определить соотношение между  $F_2$  и  $m_B g$  на основании имеющихся данных.

3. Игрушечный квадрокоптер может сбрасывать маленькие шарики во время своего движения в воздухе.

Квадрокоптер двигался по горизонтали на высоте 6 метров над ровной поверхностью земли со скоростью, величина которой равна  $3\frac{m}{s}$ , и сбросил три шарика, один за другим.

Между сбрасыванием одного шарика и следующего за ним шарика проходит  $0.5s$ .

В этом вопросе следует пренебречь сопротивлением воздуха.

- (к) Вычислите, сколько времени прошло с момента сброса одного из шариков до момента его падения на землю. (7 баллов)
- (д) Вычислите скорость, с которой шарик ударяется о землю (величину и направление). (9 баллов)
- (а) Вычислите расстояние между точками падения на землю двух шариков, которые были сброшены один за другим. Приведите подробные соображения в своем ответе. (7 баллов)
- (т) Определите, какой из приведенных ниже рисунков 1–4 наилучшим образом описывает местоположение квадрокоптера и шариков после сбрасывания третьего шарика. Обоснуйте свой ответ. (5 баллов)



Рисунок 4



Рисунок 3



Рисунок 2



Рисунок 1

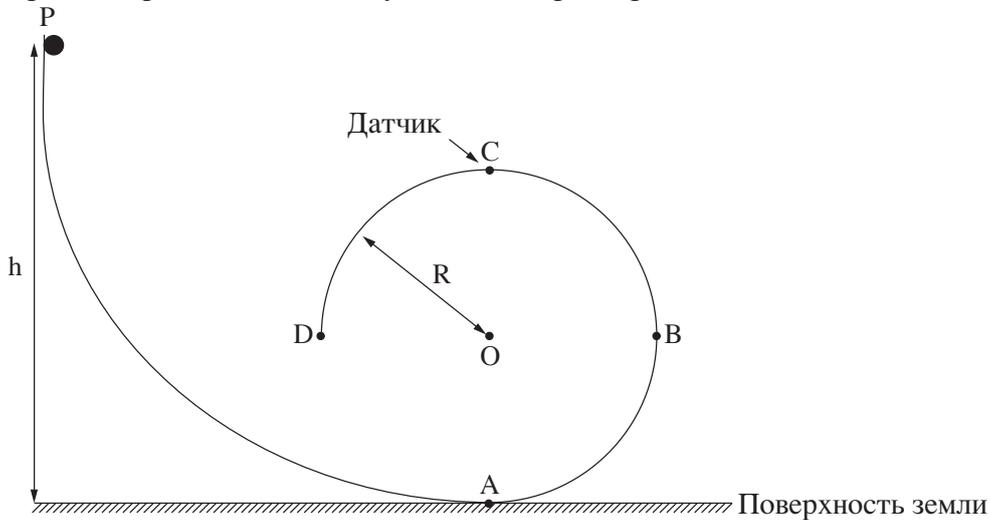
В другом случае квадрокоптер движется со скоростью, равной по величине скорости, указанной в первом случае, однако на этот раз он движется не горизонтально, а под углом  $\alpha$  вниз от линии горизонта (смотрите чертеж). В этом случае квадрокоптер также сбросил шарик на высоте 6 метров над поверхностью земли.



Йосеф утверждает, что в этом случае величина скорости, с которой шарик ударяется о землю, больше величины скорости, с которой он ударяется в первом случае, а Дана утверждает, что в обоих случаях величина скорости падения одинакова.

- (н) Определите, кто из них прав, и обоснуйте свой ответ. Вы можете воспользоваться соображениями энергии. ( $5\frac{1}{3}$  балла)

4. На чертеже изображена система, состоящая из гладкой рельсовой дорожки PABCD. Участок дорожки ABCD имеет форму вертикальной окружности с радиусом  $R$ . В точке  $C$ , самой высокой точке дорожки, установлен датчик, и в момент времени, когда на него действует сила не меньше, чем  $N_{C, \min}$ , замыкается электрическая цепь, зажигающая лампочку. В этом вопросе сопротивлением воздуха можно пренебречь.



Небольшой шарик массой  $m$  удерживают на дорожке на высоте  $h$  над поверхностью земли и затем отпускают его из состояния покоя. Шарик движется по дорожке, и в момент времени, когда он достигает точки  $C$ , датчик показывает значение силы, которая на него действует,  $N_C$ .

- (\*) (1) Начертите силы, действующие на шарик в момент времени, когда он проходит точку  $C$ . Рядом с каждой силой укажите ее название и ее источник [מה מפעיל אותה].

- (2) Выведите выражение для величины силы  $N_C$ , которая действует на датчик, как функции высоты  $h$ . Воспользуйтесь параметрами  $m$ ,  $R$  и  $g$ .

(9 баллов)

Шарик отпускают из состояния покоя несколько раз, каждый раз на другой высоте  $h$ , и записывают величину силы, которую показывает датчик,  $N_C$ .

Результаты измерений приведены в таблице:

$h$ (m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$N_C$ (N)	0.20	0.55	0.75	0.95	1.20

- (\*) (1) Начертите диаграмму распределения силы  $N_C$  как функции высоты  $h$ .  
 (2) Добавьте линию направления [קו מנהל] к начерченной вами диаграмме распределения.  
 (8 баллов)

- (\*) С помощью графика вычислите радиус окружности  $R$  и массу шарика  $m$ . (8 баллов)

Дано: минимальная сила, с которой нужно действовать на датчик, чтобы лампочка загорелась,  $N_{C, \min} = 0.6N$ .

- (\*) Определите или вычислите минимальную высоту  $h_{\min}$ , которая требуется для того, чтобы лампочка загорелась. (4 балла)

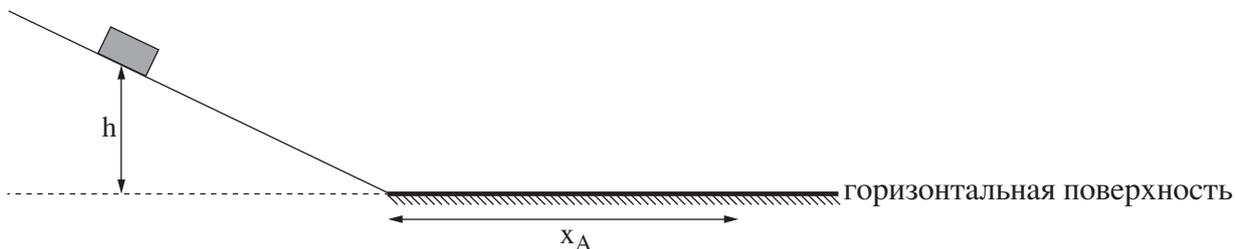
Обозначим через  $h_1$  координату  $x$  точки пересечения линии направления и горизонтальной оси.

- (\*) Если бы шарик отпустили на высоте  $h_1$ , была бы равна нулю величина скорости шарика в точке  $C$ ? Если да, то обоснуйте свой ответ, если нет, то вычислите величину скорости шарика в этой точке.  $(4\frac{1}{3}$  балла)

5. На чертеже 1 изображена система, состоящая из гладкой наклонной плоскости и шершавой горизонтальной поверхности.

Тело отпускают из состояния покоя в определенной точке на наклонной плоскости. Тело движется вниз по плоскости и останавливается на горизонтальной поверхности.

В этом вопросе можно пренебречь сопротивлением воздуха.



Чертеж 1

- (\*) (1) Определите, сохраняется ли механическая энергия тела на каждом из двух участков движения (наклонная плоскость и горизонтальная поверхность).

Обоснуйте свои утверждения.

- (2) Определите, сохраняется ли импульс [унл] тела на каждом из двух участков движения (наклонная плоскость и горизонтальная поверхность).

Обоснуйте свои утверждения.

(6 баллов)

Даны два тела: тело А, масса которого  $m_A = 0.4\text{kg}$ , и тело В, масса которого  $m_B = 1.2\text{kg}$ .

Дано, что коэффициенты трения между каждым из тел и горизонтальной поверхностью равны.

Тело А отпускают на высоте  $h = 0.6\text{m}$ . Тело останавливается на горизонтальной поверхности после того, как оно прошло по ней расстояние  $x_A = 1.5\text{m}$ .

- (\*) Вычислите коэффициент трения между горизонтальной поверхностью и телом А.

(8 баллов)

- (\*) Если бы тело В отпустили на той же высоте, то расстояние, которое оно прошло бы по горизонтальной поверхности, было бы больше  $x_A$ , равно ему или меньше его? Обоснуйте свой ответ. (6 баллов)

Тело А оставляют на горизонтальной поверхности и отпускают тело В в определенной точке на наклонной плоскости. Тело В сталкивается с телом А в ходе абсолютно упругого столкновения. Величина скорости тела В за мгновение до столкновения равна  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Предположите, что столкновение длится очень короткое время и что положительное направление задано в направлении вправо.

- (\*) Каков импульс силы [нлм] (величина и направление), действовавшей на тело В в ходе этого столкновения? (8 баллов)

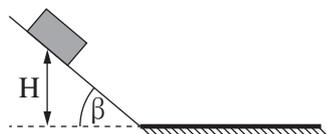
**Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.**

В другом случае отпускают тело А дважды.

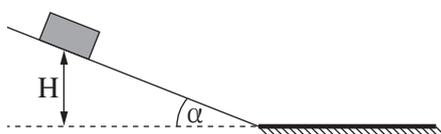
В первый раз тело А отпускают из состояния покоя на определенной высоте Н на наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$  (смотрите чертеж 2к).

Во второй раз увеличивают угол наклона наклонной плоскости до угла  $\beta$  и отпускают тело А из состояния покоя на той же высоте Н, что и в прошлый раз (смотрите чертеж 2а).

Оба раза тело движется по траектории, не сталкиваясь с другими телами.



Чертеж 2а



Чертеж 2к

Обозначим через  $J_1$  величину импульса силы, который действовал на тело с момента начала движения и до того момента, когда тело достигло основания наклонной плоскости в первый раз.

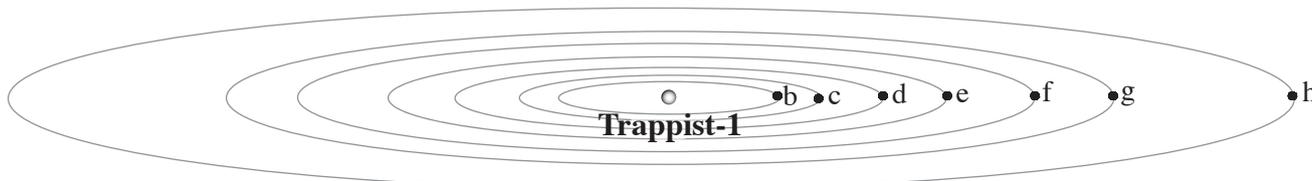
Обозначим через  $J_2$  величину импульса силы, который действовал на тело с момента начала движения и до того момента, когда тело достигло основания наклонной плоскости во второй раз.

(г) Определите, какое из выражений 1–4 верно. Обоснуйте свой выбор.  $(5\frac{1}{3}$  балла)

1.  $J_1 > J_2$
2.  $J_1 = J_2$
3.  $J_1 < J_2$
4. Невозможно определить, какой импульс силы больше, без численных значений углов.

6. В 2016–2017 годах были обнаружены планеты, являющиеся спутниками карликовой звезды под названием Trappist-1. Их размеры близки к размерам Земли.  
 Назовем обнаруженные планеты  $b, c, d, e, f, g, h$ . Планета  $b$  расположена ближе всего к карликовой звезде Trappist-1, а планета  $h$  дальше всего от нее.  
 В целях вычислений в этом вопросе следует предположить, что орбиты этих планет круговые и что воздействием этих семи планет друг на друга можно пренебречь.

### Система TRAPPIST-1



В таблице ниже представлены частичные данные о радиусе орбиты и периоде обращения трех планет, располагающихся ближе всего к звезде Trappist-1.

Планета	Радиус орбиты $r$ ( $10^9$ m)	Период обращения $T$ (дни)
b	1.73	1.51
c	2.36	
d		4.05

- (⌘) Вычислите отсутствующие в таблице значения. (7 баллов)

Ученик физического класса Эйтан утверждает, что чем дальше планета от карликовой звезды Trappist-1, тем большее ее скорость.

- (Ⓜ) Прав ли Эйтан? Обоснуйте свой ответ. (6 баллов)

- (ⓐ) (1) Выразите  $g_b$ , ускорение планеты  $b$ , которое придает ей Trappist-1.

Воспользуйтесь значениями  $T$ ,  $r$  и основными константами.

- (2) Равен ли  $mg_b$  вес тела массой  $m$ , которое находится на поверхности планеты  $b$ ?

Обоснуйте свой ответ.

(8 баллов)

- (Ⓣ) Вычислите массу звезды Trappist-1. (7 баллов)

Даны два космических корабля, имеющих одинаковую массу,  $m_s$ . Корабль I огибает Солнце, а корабль II огибает звезду Trappist-1 по круговым орбитам, радиусы которых одинаковы.

Дополнительная энергия, которую следует придать кораблю I, чтобы он преодолел притяжение Солнца, равна  $\Delta E_I$ , а дополнительная энергия, которую следует придать кораблю II, чтобы он преодолел притяжение Trappist-1, равна  $\Delta E_{II}$ .

- (Ⓝ) Вычислите отношение  $\frac{\Delta E_I}{\Delta E_{II}}$ . (5  $\frac{1}{3}$  балла)

**Желаем успеха!**

**בהצלחה!**