

## Физика

### Механика

## פיזיקה

### מכניקה

#### Указания

а. Продолжительность экзамена: два часа.

б. 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 и в соответствующих единицах измерения.
3. На вопросы, на которые требуется ответить словесно, отвечайте кратко и только по теме.
4. Прямые линии на графиках следует чертить с помощью линейки.
5. Когда от вас 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  $g$ .
6. В своих вычислениях используйте значение  $10 \text{ m/s}^2$  как ускорение свободного падения (вблизи Земли).
7. Пишите свои ответы ручкой. Запись ответов карандашом или использование типекса не позволят подать апелляцию. Карандаш можно использовать только для чертежей и графиков.

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 «טיוטה» 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 будет аннулирован!

Желаем успеха!

#### הוראות

א. משך הבחינה: שתיים.

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) בשאלות שהתשובה עליהן מילולית, יש לענות בקצרה אך ורק בנוגע למה שנשאלתם.
- (4) בגרפים יש לסרטט קווים ישרים באמצעות סרגל.
- (5) כאשר אתם 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  $g$ .
- (6) בחישובים יש להשתמש בערך  $10 \text{ m/s}^2$  לגודל תאוצת הנפילה החופשית (בסמוך לפני כדור הארץ).
- (7) יש לכתוב את התשובות בעט. אם תכתבו בעיפרון או תמחקו בטיפקס לא תוכל לערער. מותר להשתמש בעיפרון לסרטטים וגרפים בלבד.

בהצלחה!

## Вопросы

Ответьте на три из вопросов 1–6.

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

1. Водитель машины начал поездку из состояния покоя и ехал по прямому шоссе. Приведенный ниже график описывает величину скорости машины как функцию времени.



- (к) Определите тип движения машины (равномерный, равноускоренный, с переменным ускорением) на каждом из трех главных этапов движения, представленных на графике:  $0 < t < 6s$  ,  $6s < t < 10s$  ,  $10s < t < 13s$  . Обоснуйте свои ответы. (6 баллов)

Производители машины заявляют, что она может разогнаться с 0 км/ч до 100 км/ч за 2.6 секунды.

- (а) Предположите, что ускорение, о котором говорили производители, постоянно, и вычислите, во сколько раз это ускорение больше, чем максимальное ускорение, с которым ехал этот водитель. (6 баллов)
- (б) Вычислите приблизительно среднюю скорость машины в течение первых 13 секунд поездки. (6 баллов)

Машина продолжала ехать по прямому шоссе со скоростью  $14\frac{m}{s}$  . В какой-то момент времени водитель заметил мяч, который катился поперек шоссе. Водитель не хотел наехать на мяч. С момента, когда водитель заметил мяч, и до момента, когда он нажал на педаль тормоза (время реакции), прошло 0.75s. Величина ускорения торможения машины составила  $3.5\frac{m}{s^2}$  .

- (г) Вычислите время, прошедшее с момента, когда водитель нажал на педаль тормоза, и до остановки машины. (6 баллов)
- (д) Вычислите суммарное расстояние, которое проехала машина с момента, когда водитель заметил мяч, и до момента остановки. (6 баллов)

На плакате Национального управления безопасности дорожного движения написано:

«Скорость меньше на 10 км/ч – вдвое больше шансов выжить».

Водитель понял, что смысл этого высказывания в том, что если уменьшить величину скорости машины на 10 км/ч, ее тормозное расстояние уменьшится в два раза. Тормозное расстояние – это наименьшее расстояние, которое проезжает машина с момента, когда водитель нажал на тормоза, до момента остановки машины.

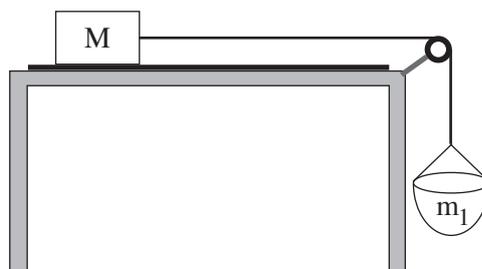
- (е) Уменьшит ли уменьшение величины скорости машины на 10 км/ч ее тормозное расстояние в два раза независимо от величины скорости машины? Обоснуйте свой ответ. ( $3\frac{1}{3}$  балла)

2. Ученик провел три опыта с помощью ящика массой  $M$  и гладкой дорожки.

В первом опыте ученик расположил дорожку горизонтально и поставил на нее ящик (смотрите чертеж 1). Он удерживал ящик на месте и привязал к нему груз массой  $m_1$  посредством нити, проходящей через блок. Ученик вывел систему из состояния покоя.

Считайте, что масса нити и масса блока пренебрежимо малы и что в ходе своего движения груз не достигает поверхности земли, а ящик не достигает блока.

Дано, что величина ускорения системы равна  $\frac{g}{4}$ .



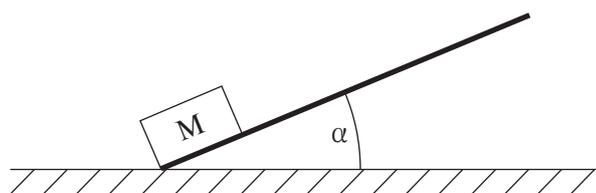
Чертеж 1

(к) Начертите в тетради силы, действовавшие на ящик  $M$ , и силы, действовавшие на груз  $m_1$ . Рядом с каждой силой напишите ее название. (5 баллов)

(з) Выразите массу груза  $m_1$  при помощи массы ящика  $M$ . (6 баллов)

(а) Вычислите отношение величины силы натяжения нити в то время, когда система находилась в состоянии покоя, к величине силы натяжения нити после вывода системы из состояния покоя. (7 баллов)

Во втором опыте ученик поднял один конец дорожки, так что дорожка была наклонена под углом  $\alpha$  относительно горизонта. Он удалил груз  $m_1$  из системы, поставил ящик  $M$  на нижний конец дорожки и толкнул его в направлении вверх по наклонной дорожке (смотрите чертеж 2). В этом опыте величина ускорения системы также равна  $\frac{g}{4}$ .



Чертеж 2

(т) Вычислите  $\alpha$ , угол наклона. (7 баллов)

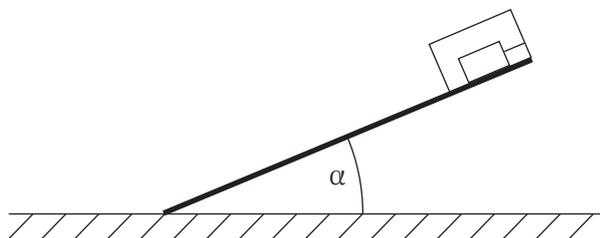
После того как ящик поднялся по дорожке, он на мгновение остановился и начал двигаться в обратном направлении вниз по дорожке.

(н) Определите, была ли величина ускорения ящика равна нулю в момент времени, когда он остановился на мгновение. Обоснуйте свой ответ. (5 баллов)

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

В третьем опыте ученик положил внутрь ящика предмет и привязал его к стенке ящика нитью, параллельной дорожке.

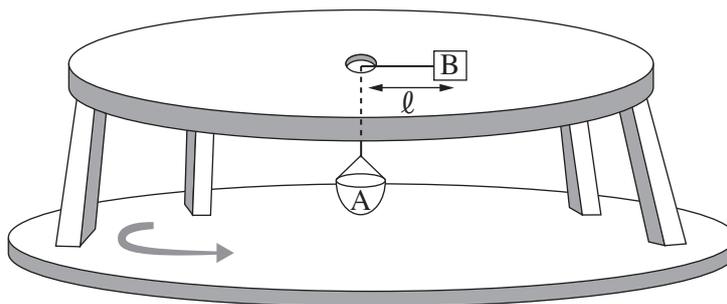
Он положил в верхней части дорожки ящик с предметом и вывел их из состояния покоя (смотрите чертеж 3).



Чертеж 3

- (1) Какова была величина силы натяжения нити во время спуска ящика? Обоснуйте свой ответ.  $(3\frac{1}{3}$  балла)

3. Дана система, состоящая из горизонтального стола, в центре которого есть отверстие, и двух тел А и В (смотрите чертеж). Тело В лежит на столе, а тело А – это плетеная корзина, висящая под столом на веревке, которая проходит через отверстие в столе и прикреплена к телу В. Трением между веревкой и стенками отверстия в столе можно пренебречь. Расстояние между телом В и центром отверстия в столе равно  $\ell$ . Стол и лежащее на нем тело В располагаются на поверхности, вращающейся с постоянной частотой,  $f$ . Центр стола – это центр вращения. Величина расстояния  $\ell$  и частота вращения системы,  $f$ , остаются постоянными на всем протяжении вопроса.



Дано:  $m_A = 0.1\text{kg}$  ,  $m_B = 0.3\text{kg}$  ,  $\ell = 0.4\text{m}$  .

В описанном положении отсутствует сила трения между телом В и столом.

- (**х**) Рассмотрите это положение и начертите силы, действующие на каждое из двух данных тел. Рядом с каждой силой укажите ее название. (5 баллов)
- (**а**) Вычислите частоту  $f$ . (7 баллов)

В другом случае в корзину А поместили груз, масса которого равна массе корзины.

Расстояние  $\ell$  и частота  $f$  не изменились. В этом положении действует статическая сила трения между телом В и поверхностью стола.

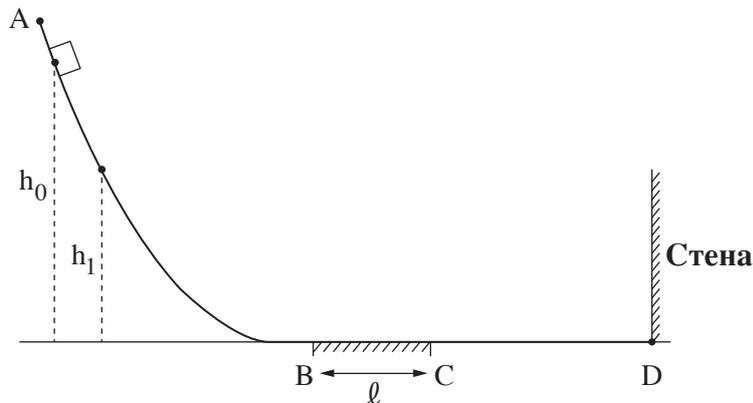
- (**б**) Какова величина и каково направление статической силы трения, действующей на тело В? (7 баллов)
- (**г**) Вычислите минимальный статический коэффициент трения  $\mu_s$  между столом и телом В, позволяющий это движение. (6 баллов)

Не удаляя груз из корзины, над телом В прикрепили еще одно тело, С, масса которого  $m_C$ . В этом положении два тела, В и С, вместе вращаются с частотой  $f$  по кругу радиусом  $\ell$ .

- (**д**) Если бы масса тела С была равна массе тела В ( $m_C = m_B$ ), объясните, почему в данном положении отсутствовала бы сила статического трения между телом В и столом. (5 баллов)
- (**и**) Если бы масса тела С была больше массы тела В ( $m_C > m_B$ ), определите направление силы статического трения, с которой стол действует на тело В. Обоснуйте свой ответ. ( $3\frac{1}{3}$  балла)

4. Небольшое тело массой  $m$  скользит по дорожке ABCD, прикрепленной к стене в точке D (смотрите чертеж).

Отрезки AB и CD дорожки гладкие. Длина горизонтального отрезка BC равна  $\ell$ , а коэффициент трения между дорожкой и телом на этом отрезке равен  $\mu$ .



Тело отпустили из состояния покоя на высоте  $h_0$  (смотрите чертеж). Тело двигалось по дорожке в направлении стены, ударилось о стену в точке D – столкновение было абсолютно упругим – и вернулось на дорожку. По дороге обратно тело поднялось на максимальную высоту  $h_1$ .

- (а) Начертите силы, действующие на тело, когда оно движется на участке BC, в ходе движения из точки B в точку C. Рядом с каждой силой укажите ее название. (4 балла)
- (б) Выведите выражение для работы силы трения в ходе движения тела с высоты  $h_0$  до высоты  $h_1$  при движении обратно вверх по дорожке. Используйте параметры  $m$ ,  $\ell$  и  $\mu$ . (4 балла)

После того, как тело достигло высоты  $h_1$ , оно несколько раз продолжило двигаться по дорожке ABCD туда-обратно. Каждый раз тело достигало другой максимальной высоты,  $h_n$ . Высота  $h_n$ , которой достигало тело, измерялась  $n = 5$  раз.

- (в) Выведите выражение для высоты  $h_n$  как функции  $n$ . Воспользуйтесь параметрами  $h_0$ ,  $\ell$  и  $\mu$ . (6 баллов)

Результаты измерений приведены в таблице:

Число измерений $n$	1	2	3	4	5
$h_n$ (m)	1.30	1.12	0.88	0.73	0.53

- (г) (1) Начертите диаграмму распределения (точки в системе координат)  $h_n$  как функции  $n$ .  
 (2) Добавьте к диаграмме распределения наиболее подходящую ей прямую (линию направления [הממוק]).  
 (8 баллов)

Дано:  $\ell = 0.25\text{m}$ .

- (д) С помощью начерченного вами графика найдите:  
 (1) Начальную высоту,  $h_0$ , с которой тело отпустили из состояния покоя.  
 (2) Коэффициент трения,  $\mu$ .  
 (8 баллов)

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

В ходе еще одного опыта стену покрыли некоторым материалом и снова отпустили тело из состояния покоя на высоте  $h_0$ . Значение высоты  $h'_1$ , измеренное в этом опыте, было меньше значения  $h_1$ , измеренного в предыдущем опыте.

- (г) Определите, работа нормальной силы, с которой стена действует на тело в ходе столкновения в этом новом опыте, была положительной, отрицательной или равной нулю. Обоснуйте свой ответ.  $(3\frac{1}{3}$  балла)

5. Израильская гимнастка Линой Ашрам завоевала золотую медаль в личном многоборье на Олимпиаде в Токио 2021 года. Одним из упражнений, которое она выполнила с большим успехом, было упражнение с мячом.

Ученица, которая также занимается художественной гимнастикой, выполняла первое упражнение с мячом массой 400 грамм. Она бросила его в вертикальном направлении вверх с высоты 1 метр. Мяч поднялся на максимальную высоту 6 метров над поверхностью земли, а затем упал на землю.

Считайте, что сопротивление воздуха было пренебрежимо мало на всех этапах движения мяча.

- (а) Вычислите величину скорости мяча в момент его удара о землю. (6 баллов)

- (б) Величина скорости мяча в момент, когда он покинул руки ученицы, была меньше, чем величина скорости мяча в момент его удара о землю, больше ее или равна ей?

Обоснуйте свой ответ. (5 баллов)

После того, как мяч ударился о землю, он отскочил от нее вертикально вверх. Величина скорости мяча немедленно после отскока от поверхности земли была равна величине скорости мяча в момент удара о землю.

- (в) Действовал ли на мяч импульс силы [דפולמו] в ходе его удара о землю? Если да, вычислите величину импульса силы, если нет – объясните. (6 баллов)

- (г) Выполнялась ли в отношении мяча работа во время его удара о землю? Если да, вычислите величину работы, если нет – объясните. (6 баллов)

Ученица выполнила второе упражнение, на этот раз с двумя одинаковыми мячами, мячом 1 и мячом 2. Ученица бросила мяч 1 так же, как она бросила мяч в первом упражнении, но на этот раз она расположила на пути мяча 1, после того как он отскочил от земли, мяч 2. Она отпустила мяч 2 из состояния покоя на высоте 1 метр в точности в тот момент, когда мяч 1 достиг этой высоты, и оба мяча столкнулись друг с другом.

Считайте, что столкновение между мячами было абсолютно упругим и продолжалось очень короткое время и что оно было лобовым (направление движения мяча 1 перед столкновением совпадало с вертикальной линией, соединяющей центры этих двух мячей).

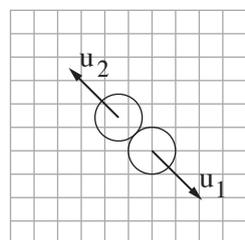
- (д) Вычислите величину скорости каждого из этих двух мячей немедленно после столкновения. (6 баллов)

Ученица выполнила упражнение с двумя мячами несколько раз, и каждый раз столкновение между мячами было абсолютно упругим.

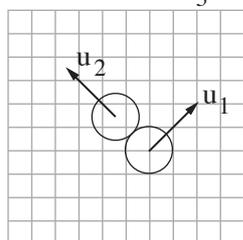
В некоторых случаях столкновение мячей было лобовым, а в некоторых случаях оно не было лобовым.

- (е) Каждый из чертежей 1–4 изображает два этих мяча в момент после их столкновения. Стрелки над мячами на чертежах изображают их скорости (в одинаковом масштабе) немедленно после столкновения.

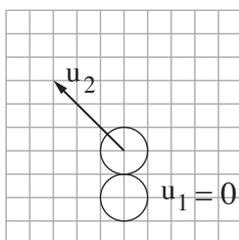
Определите, какой чертеж может соответствовать положению мячей в одном из упражнений. Обоснуйте свой ответ. ( $4\frac{1}{3}$  балла)



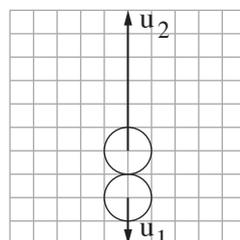
4



3



2



1

/продолжение на странице 9/

## Гравитация

6. «Бе-Решит-2» – название израильского космического корабля, который разрабатывают инженеры компании SPACE IL. Его предполагают запустить на Луну через несколько лет. Планируется, что корабль будет нести на борту два посадочных модуля, которые высадятся в двух точках на поверхности Луны.

Идея этого вопроса подсказана программой запуска «Бе-Решит-2», однако данные отличаются от тех, что в программе.

Космический корабль, на борту которого находятся два посадочных модуля, модуль 1 и модуль 2, запускают с поверхности Земли с помощью ракеты. Он движется к Луне.

(ж) Вычислите, на каком расстоянии от центра Земли величина силы притяжения, с которой Земля воздействует на ракету, равна величине силы притяжения, с которой Луна воздействует на ракету. (7 баллов)

В пунктах (з)–(н) считайте, что сила притяжения, с которой Земля воздействует на космический корабль и модули, пренебрежимо мала относительно силы притяжения, с которой на них воздействует Луна.

Космический корабль выводит каждый из модулей на его круговую орбиту вокруг Луны:

модуль 1 на круговую орбиту радиусом  $r_1$ , а модуль 2 на круговую орбиту радиусом  $r_2$ .

За время, за которое модуль 1 совершает девять оборотов вокруг Луны, модуль 2 совершает десять оборотов вокруг Луны.

(з) Вычислите  $\frac{r_1}{r_2}$ . (8 баллов)

Модуль 2 движется вокруг Луны по круговой орбите на высоте  $h = 260\text{km}$  над поверхностью Луны.

(д) Есть ли ускорение у модуля 2 во время его кругового движения вокруг Луны? Если да – вычислите величину ускорения модуля. Если нет – обоснуйте, почему у модуля 2 нет ускорения. (8 баллов).

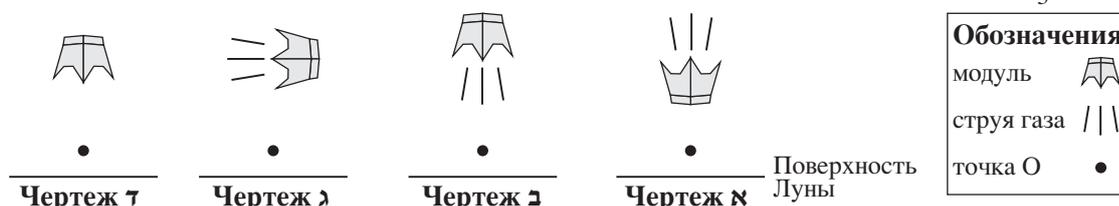
Массы двух тел входят в формулу всемирного тяготения симметрично. Это соответствует одному из законов Ньютона.

(е) Укажите название этого закона (или сформулируйте его словесно) и объясните связь между ним и законом всемирного тяготения. (5 баллов)

Движение каждого из модулей управляется с помощью реактивного двигателя, выбрасывающего газ во время своей работы. При посадке модуля 1 на Луну он движется по направлению к поверхности по прямой траектории, перпендикулярной поверхности Луны, и останавливается (мгновенная остановка) в определенной точке  $O$ , находящейся над поверхностью Луны.

Чертежи  $\kappa$ – $\lambda$  описывают положения, при которых двигатель выбрасывает струи газа в различных направлениях, а чертеж  $\tau$  описывает положение, при котором двигатель **не** работает и не выбрасывает струю газа.

(ж) Определите, какой из чертежей  $\kappa$ – $\tau$  описывает положение, позволяющее мгновенную остановку модуля в точке  $O$ , и обоснуйте свой ответ. (5  $\frac{1}{3}$  балла)



**Желаем успеха!**

**בהצלחה!**