корпорация российский учебник

LECTA

УМК «Физика 7 – 11» Грачёва А.В.

Алгоритмический подход к решению задач

ДИНАМИКА

к.т.н. Опаловский В.А.
учитель высшей квалификационной категории
методист корпорации «Российский учебник»

Серия вебинаров «Решение задач»

Кинематика

Динамика

Законы сохранения в механике

Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика

Решение задач

- Невозможно понять физику, не научившись решать задачи.

- Решение задач – следствие правильного понимания физических законов (**от теории к практике**).

- Опыт, накапливаемый при решении задач, позволяет более глубоко осознавать физические теории (**от практики к теории**).

Основа успеха

Глубокое понимание сути физических явлений.

Правильная, выверенная последовательность действий при решении задач (т.е. **наличие** четко спланированного руководства к действию – **алгоритма**).

Место алгоритмов в УМК

Алгоритмы решения задач приводятся:

- ✓В учебнике, при рассмотрении примеров решения задач
- ✓В рабочей тетради в виде шагов с названиями этапов (в начале изучения темы) или только номерами шагов (в конце изучения темы)

Цели задания алгоритмов:

- ✓Приучить учащихся к правильной последовательности действий при решении задач
- ✓Помощь в самостоятельной работе учащихся

Процент выполнения ЕГЭ по видам деятельности

Вид деятельности	2016	2017	2018	2019
Применение законов и формул в типовых ситуациях	60	67	69	68
Анализ и объяснение явлений и процессов	59	63	61	60
Методологические умения	61	75	65	61
Решение задач	17	19	20	26

Решение задач

Решение задач повышенного и высокого уровней сложности остаётся наиболее сложным видом деятельности для учеников. Но только по этому виду деятельности наблюдается стабильный рост результатов – вдвое за последние пять лет.

Сформированные навыки решения задач являются обязательным условием получения высоких результатов ЕГЭ.

«Значительный прирост наблюдается для решения задач. Особенно заметен прирост для заданий с развёрнутым ответом, к решению которых применимы типовые алгоритмы действий».

д.п.н. Демидова М.Ю., ФИПИ http://fipi.ru/

корпорация российский учебник

Алгоритмический подход к решению задач по динамике

9 класс

Динамика (прямолинейное движение)

§13 Движение тела под действием нескольких сил (горизонтальное движение)

§13 Движение тела под действием нескольких сил (движение по наклонной плоскости)

§14 Движение взаимодействующих тел

§14 Движение взаимодействующих тел (условие начала относительного движения тел)

§15 Движение связанных тел. Движение по горизонтали.

§15 Движение связанных тел. Движение по вертикали.

§15 Движение связанных тел. Неподвижный блок.

Движение тела под действием нескольких сил

Задача 1

На горизонтальной поверхности стола, неподвижного относительно Земли, лежит брусок массой $m = 5$ кг. В некоторый момент времени на брусок начинает действовать горизонтально направленная сила $\vec{F}$ (рис. 51), модуль которой равен 20 Н. В результате брусок начинает двигаться поступательно в направлении силы $\vec{F}$. Определите ускорение бруска, если коэффициент трения μ между ним и поверхностью стола равен 0,3.

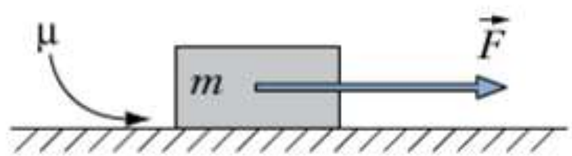


Рис. 51

Решение.

Шаг 0. Выбор модели.

По условию задачи брусок движется поступательно. Следовательно, все его части движутся одинаково. Поэтому брусок можно считать материальной точкой.

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Запись действующих сил

3. Определение проекций сил на координатные оси

4. Запись уравнений движения по координатным осям

5. Использование индивидуальных свойств сил

Шаг 1. Выбор ИСО.

Выберем в качестве тела отсчёта стол. Ось X направим горизонтально в направлении действия силы $\vec{F}$, ось Y — вертикально вверх (рис. 52). Часы включим в момент начала действия силы $\vec{F}$.

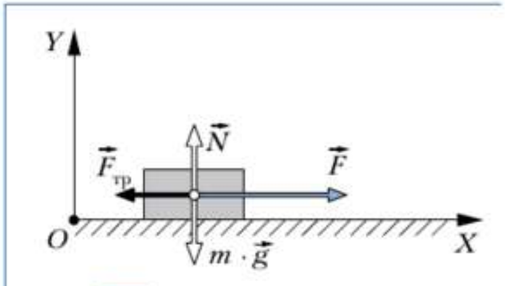


Рис. 52

Шаг 2. Запись действующих сил.

Изобразим на рисунке силы, действующие на брусок (материальную точку): силу тяжести $m \cdot \vec{g}$ со стороны Земли, силу реакции опоры $\vec{N}$, силу $\vec{F}$, тянущую брусок, силу трения $\vec{F}_{тр}$, препятствующую движению со стороны поверхности стола.

Шаг 3. Определение проекций на координатные оси действующих на тело сил (с учётом их направлений).

Рассмотрим вначале проекции сил на ось Y. Силы $\vec{F}$ и $\vec{F}_{тр}$ перпендикулярны этой оси, поэтому их проекции на ось Y равны нулю.

Направление силы $\vec{N}$ совпадает с положительным направлением оси Y. Поэтому её проекция на эту ось положительна и равна модулю этой силы: $N_y = N$. Напротив, направление силы тяжести $m \cdot \vec{g}$ противоположно положительному направлению оси Y. Поэтому её проекция на ось Y отрицательна и равна $m \cdot g_y = -m \cdot g$.

Таким образом, сумма проекций на ось Y всех сил, действующих на брусок, равна $N - m \cdot g$.

Теперь рассмотрим проекции сил на ось X. Проекция силы $\vec{F}$ на эту ось положительна и равна модулю этой силы: $F_x = F$. Проекция силы $\vec{F}_{тр}$ на ось X отрицательна и равна $F_{трx} = -F_{тр}$. Проекции сил $\vec{N}$ и $m \cdot \vec{g}$ на ось X равны нулю, так как они перпендикулярны этой оси.

Следовательно, сумма проекций на ось X всех действующих на брусок сил равна $F - F_{тр}$.

Шаг 4. Запись уравнений движения по координатным осям.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси.

$$F - F_{тр} = m \cdot a_x, \qquad (по\ оси\ X)$$

$$N - m \cdot g = m \cdot a_y. \qquad (по\ оси\ Y)$$

Шаг 5. Использование индивидуальных свойств сил.

На этом шаге в виде уравнений записывают выражения для сил, которые известны. В данном случае этим уравнением будет выражение, связывающее модуль силы трения скольжения $\vec{F}_{тр}$ с модулем силы реакции опоры $\vec{N}$. Так как брусок движется, то $F_{тр} = \mu \cdot N$.

6. Уравнение кинематических связей

7. Составление системы уравнений

8. Решение системы уравнений

9. Анализ результата и расчёт численного ответа

Шаг 6. Уравнения кинематических связей.

На этом шаге в виде уравнений записывают условия для проекций ускорения (кинематических величин) тела, которые следуют из условия задачи. Эти уравнения принято называть уравнениями кинетических связей. В данной задаче проекция $a_y = 0$, так как в выбранной системе отсчёта брусок движется только вдоль оси X. *Отметим, что шаги 5 и 6 не всегда используют при решении задач. Необходимость применения этих шагов определяется условием каждой конкретной задачи.*

Шаг 7. Составление системы уравнений.

Сведём полученные уравнения в систему и присвоим каждому из них номер и название:

$N - m \cdot g = m \cdot a_y$, (2) (*проекция второго закона Ньютона на ось Y*)

$F - F_{тр} = m \cdot a_x$, (3) (*проекция второго закона Ньютона на ось X*)

$F_{тр} = \mu \cdot N$, (4) (*выражение для силы трения скольжения*)

$a_y = 0$. (5) (*отсутствие перемещения бруска вдоль оси Y*)

Шаг 8. Решение системы уравнений.

Подставив уравнение (5) в уравнение (2), получим: $N - m \cdot g = 0$. Таким образом, знание проекции a_y ускорения позволяет определить проекцию суммы сил на ось Y. Это, в свою очередь, позволяет рассчитать модуль N силы реакции опоры: $N = m \cdot g$. Теперь из уравнения (4) мы можем определить модуль силы трения скольжения: $F_{тр} = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g$.

Используя это значение $F_{тр}$, перепишем уравнение (3):

$$F - \mu \cdot m \cdot g = m \cdot a_x.$$

Знание проекции суммы всех сил на ось X позволяет определить проекцию a_x ускорения на эту ось:

$$a_x = \frac{F}{m} - \mu \cdot g.$$

Шаг 9. Анализ результата и расчёт численного ответа.

Из полученного выражения для a_x видно, что при увеличении модуля силы $\vec{F}$ ускорение бруска будет увеличиваться. Напротив, при увеличении массы m бруска или коэффициента трения μ ускорение будет уменьшаться. Полученные выводы соответствуют здравому смыслу и нашему жизненному опыту. Таким образом, полученный ответ имеет физический смысл.

По условию задачи брусок начинает двигаться в положительном направлении оси X. Следовательно, проекция a_x должна быть положительной:

$$a_x = \frac{F}{m} - \mu \cdot g > 0.$$

Другими словами, модуль силы $\vec{F}$, масса m бруска и коэффициент трения μ должны удовлетворять написанному неравенству. В противном случае задача не имеет решения. В нашем случае $a_x = \frac{F}{m} - \mu \cdot g = \frac{20}{5} - 0{,}3 \cdot 10 = 1$ (м/с^2).

Ответ: брусок движется в направлении действия силы $\vec{F}$ с ускорением, модуль которого равен 1 м/с^2.

9. Анализ результата и расчёт численного ответа

Движение по наклонной плоскости

По плоскости, образующей с горизонтом угол α, соскальзывает вниз брусок массой m. Найдите ускорение бруска, если известно, что коэффициент трения бруска о плоскость равен μ.

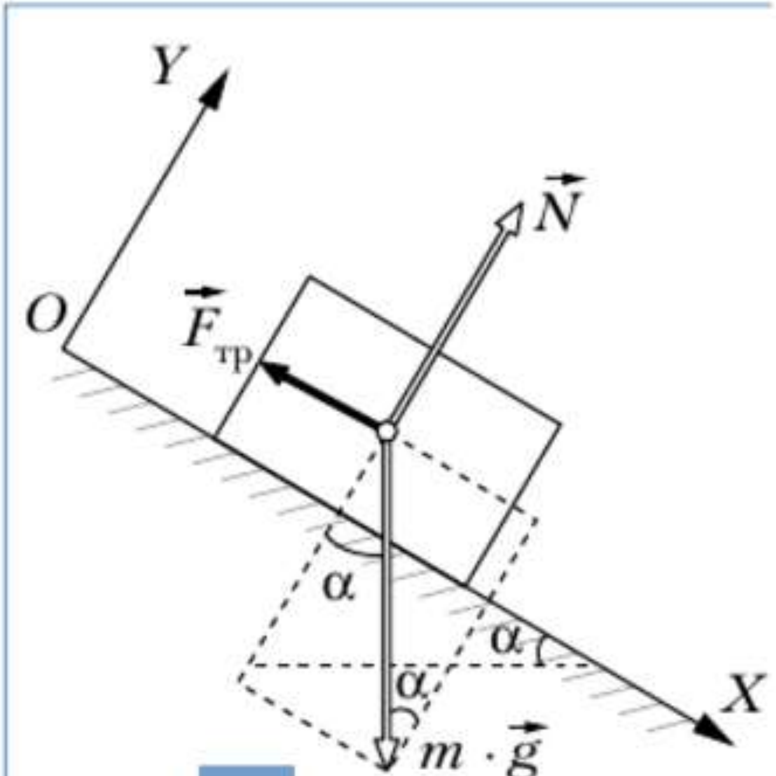


Рис. 53

Движение взаимодействующих тел

0. Выбор модели

↓

1. Выбор ИСО

↓

2. Запись действующих сил

↓

3. Определение проекций сил на координатные оси

↓

4. Запись уравнений движения по координатным осям

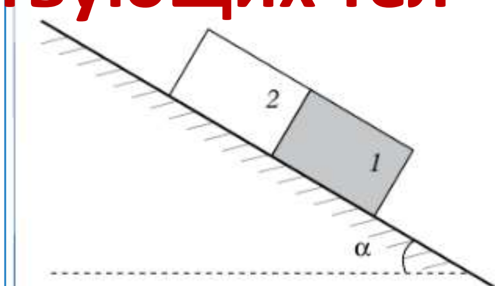


Рис. 56

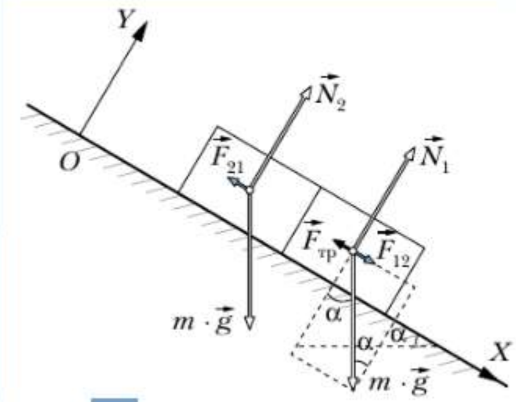


Рис. 57

зогнать его. В свою очередь (по третьему закону Ньютона), первый брусок будет действовать на второй, стараясь затормозить его. Именно эту силу взаимодействия брусков мы должны определить в задаче.

Решение.

Шаг 0. Поскольку по условию оба бруска движутся поступательно, будем считать их материальными точками.

Шаг 1. Выберем инерциальную систему отсчёта, связав её с наклонной плоскостью. Ось X направим параллельно наклону плоскости, а ось Y — перпендикулярно плоскости (рис. 57).

Шаг 2. Изобразим на рисунке силы, действующие на бруски: силы тяжести $m \cdot \vec{g}$, силы реакции опоры $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$, силу трения скольжения $\vec{F}_{тр}$, силу $\vec{F}_{12}$, действующую на первый брусок со стороны второго, и силу $\vec{F}_{21}$, действующую на второй брусок со стороны первого.

Шаг 3. Определим проекции на координатные оси сумм сил, действующих на каждый из брусков.

Сумма проекций на ось X всех сил, действующих на первый брусок, равна $m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{тр} + F_{12}$, а сумма проекций всех сил, действующих на второй брусок, равна $m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{21}$.

Сумма проекций на ось Y всех сил, действующих на первый брусок, равна $N_1 - m \cdot g \cdot \cos\alpha$; на второй брусок равна $N_2 - m \cdot g \cdot \cos\alpha$.

Шаг 4. Второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси для брусков имеет вид:

$$N_1 - m \cdot g \cdot \cos\alpha = m \cdot a_{1y}, \qquad (1)$$

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{тр} + F_{12} = m \cdot a_{1x}, \qquad (2)$$

$$N_2 - m \cdot g \cdot \cos\alpha = m \cdot a_{2y}, \qquad (3)$$

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{21} = m \cdot a_{2x}. \qquad (4)$$

4. Запись III закона Ньютона

5. Использование индивидуальных свойств сил

6. Уравнение кинематических связей

7. Составление системы уравнений

8. Решение системы уравнений

Шаг 4* (новый). По третьему закону Ньютона модули сил взаимодействия брусков равны. Обозначив их через F, имеем: $F_{12} = F_{21} = F$.

Шаг 5. Бруски скользят, поэтому $F_{тр} = \mu \cdot N_1$.

Шаг 6. В выбранной системе отсчёта бруски движутся *только* вдоль оси X. Следовательно, $a_{1y} = a_{2y} = 0$. Кроме того, бруски движутся вместе. Поэтому проекции их ускорений на ось X равны друг другу. Обозначив их через a, имеем: $a_{1x} = a_{2x} = a$.

Шаг 7. Перепишем уравнения (1)–(4) с учётом результатов предыдущих шагов.

$$N_1 - m \cdot g \cdot \cos\alpha = 0, \qquad (5)$$

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot N_1 + F = m \cdot a, \qquad (6)$$

$$N_2 - m \cdot g \cdot \cos\alpha = 0, \qquad (7)$$

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha - F = m \cdot a. \qquad (8)$$

Шаг 8. Из уравнения (5) найдём модуль силы реакции опоры $\vec{N}_1$: $N_1 = m \cdot g \cdot \cos\alpha$. Это значение подставим в уравнение (6). Получим:

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha + F = m \cdot a.$$

Подставим в полученное соотношение выражение для $m \cdot a$ из уравнения (8):

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha + F = m \cdot g \cdot \sin\alpha - F.$$

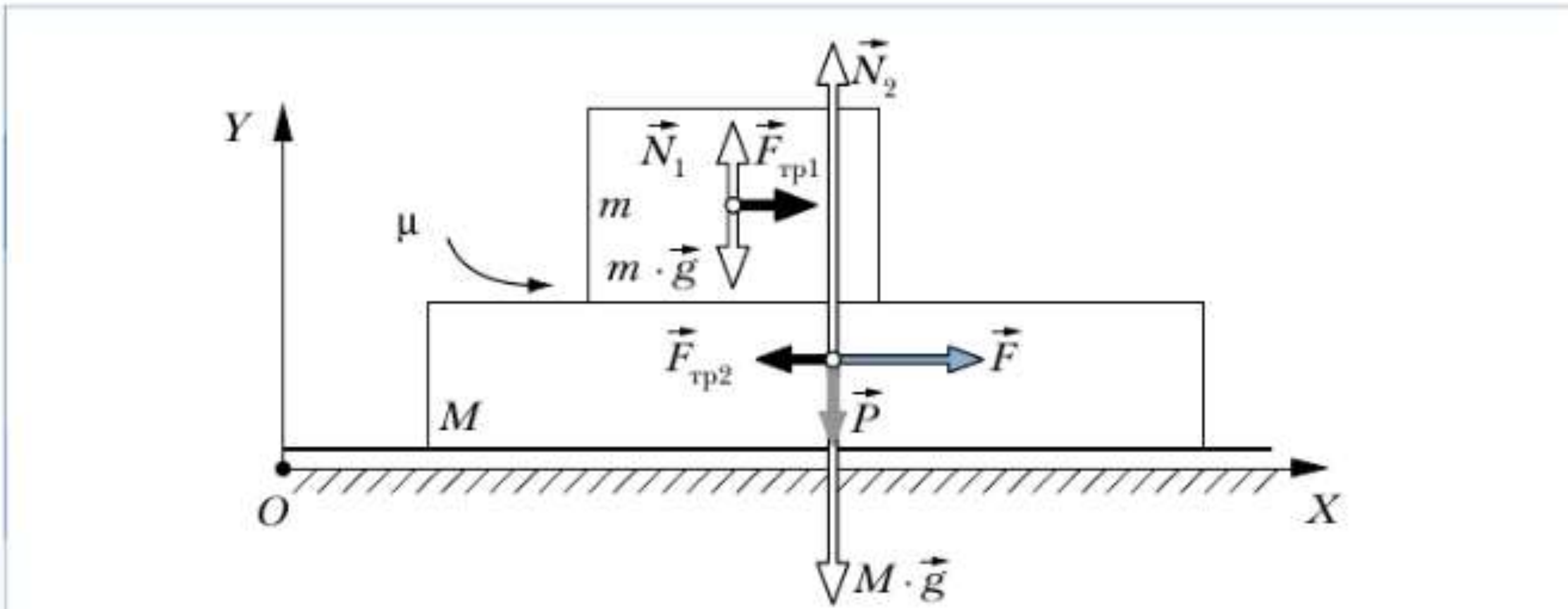
Так как $F = F_{21}$, после преобразования получаем:

$$F_{21} = 0{,}5\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha.$$

Ответ: модуль искомой силы $F_{21} = 0{,}5\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$.

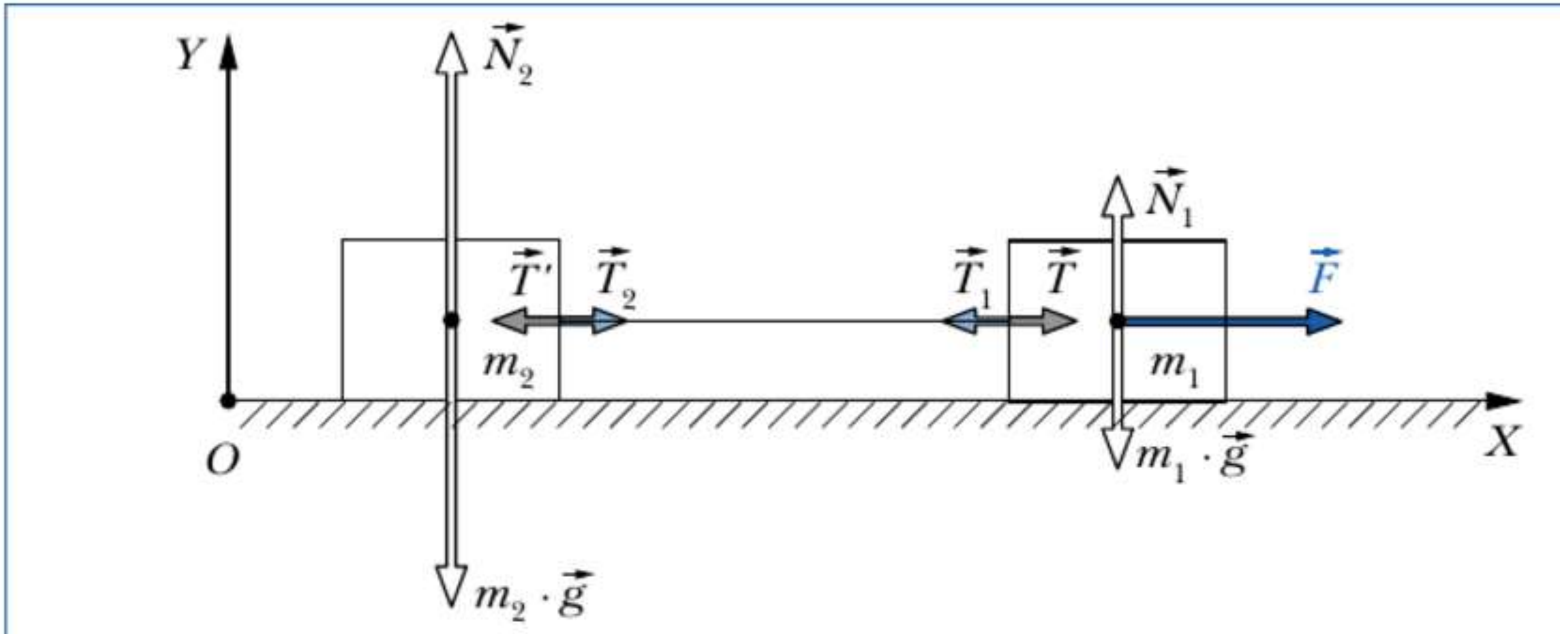
Условие начала относительного движения

Доска массой M лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На доске лежит брусок массой m (рис. 59). Коэффициент трения между бруском и доской равен μ. Определите, с какой минимальной по модулю горизонтально направленной силой $\vec{F}$ надо подействовать на доску, чтобы в процессе начавшегося движения брусок начал скользить по доске.



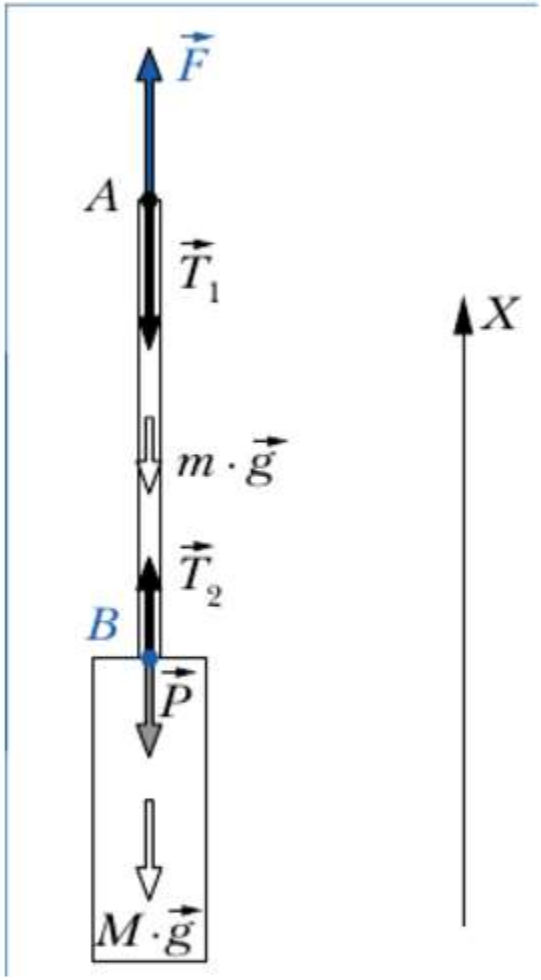
Движение связанных тел. Движение по горизонтали

На горизонтальной поверхности стола удерживают два маленьких гладких бруска массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг. Бруски связаны друг с другом лёгкой нерастяжимой нитью, которая натянута. В некоторый момент времени бруски отпускают. Одновременно на первый брусок начинает действовать сила $\vec{F}$ так, как показано на рис. 60. В результате бруски начинают поступательно двигаться в направлении действия этой силы. Определите ускорения брусков, если модуль силы $\vec{F}$ равен 6 Н.



Движение связанных тел. Движение по вертикали

Вертикально расположенную нерастяжимую верёвку массой $m = 1$ кг тянут рукой за её верхний конец с силой $\vec{F}$, модуль которой равен 60 Н. К нижнему концу верёвки прикреплён груз массой $M = 4$ кг. Определите ускорения груза и верёвки. Рассчитайте и сравните модули сил упругости $\vec{T}_1$, с которой верёвка действует на руку, и $\vec{T}_2$, с которой верёвка действует на груз.



Движение связанных тел. Неподвижный блок

Через неподвижный относительно Земли блок перекинута гладкая лёгкая нерастяжимая нить, которая может скользить по блоку. К концам нити прикрепляют грузы, массы которых равны m_1 и m_2 (рис. 62). Определите ускорения грузов после их одновременного отпускания.

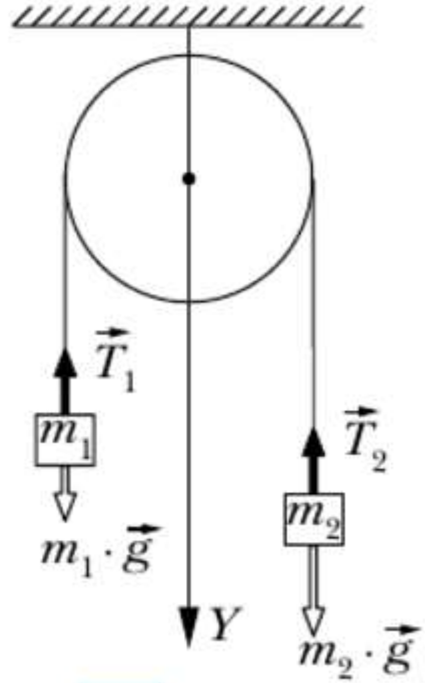


Рис. 62 Модули сил натяжения нити во всех её точках одинаковы

Динамика равномерного движения по окружности

§16 Динамика равномерного движения по окружности

§17 Движение тела на поворотах

§17 Движение автомобиля по мосту

Динамика равномерного движения по окружности

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Запись действующих сил

Рис. 66

Задача 1

На равномерно вращающейся вокруг вертикальной оси карусели стоит человек массой m (рис. 66). Угловая скорость вращения карусели равна ω. Расстояние от оси вращения до человека равно R. Определите силу трения покоя, которая действует на человека со стороны поверхности карусели.

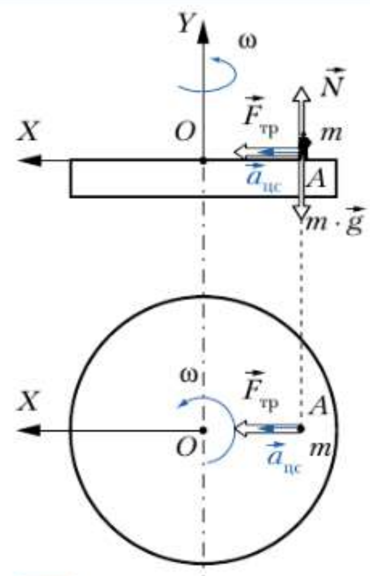


Рис. 67 Центростремительное ускорение $\vec{a}_{цс}$ обеспечивает равномерное движение человека по окружности, при котором непрерывно изменяется направление скорости $\vec{v}$

Решение.

Шаг 0. Так как нас не интересуют различия в движении разных точек тела человека, примем его за материальную точку.

Шаг 1. Выберем инерциальную систему отсчёта, связав её с Землёй. За начало отсчёта примем неподвижный относительно Земли центр карусели (точку O). Координатную ось X проведём через начало отсчёта и точку A, в которой в рассматриваемый момент времени находится человек. За положительное направление оси X примем направление от точки A к точке O. Ось Y направим вертикально вверх (рис. 67).

Шаг 2. Изобразим силы, действующие на человека: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, силу реакции опоры $\vec{N}$ со стороны поверхности карусели и силу трения покоя $\vec{F}_{тр}$, *которая создаёт центростремительное ускорение человека.*

3. Определение проекций сил

4. Запись уравнений движения

5. Использование индивидуальных свойств сил

6. Уравнение кинематических связей

7. Составление системы уравнений

8. Решение системы уравнений

Шаг 3. Определим проекции сил на координатные оси.

Проекция силы $\vec{F}_{тр}$ на ось Y равна нулю, так как сила перпендикулярна этой оси. Проекция на эту ось силы реакции опоры $\vec{N}$ положительна и равна её модулю: $N_y = N$. Проекция на ось Y силы тяжести $m \cdot \vec{g}$ отрицательна и равна её модулю со знаком «–», т. е. $m \cdot g_y = -m \cdot g$.

Вдоль оси X действует только сила трения покоя $\vec{F}_{тр}$. Её проекция на ось X положительна и равна модулю этой силы: $F_{тр x} = F_{тр}$.

Шаг 4. Запись второго закона Ньютона в проекциях на координатные оси имеет вид:

$$N - m \cdot g = m \cdot a_y,$$

$$F_{тр} = m \cdot a_x.$$

Шаг 5. Отметим, что $\vec{F}_{тр}$ – сила трения покоя. Поэтому её модуль должен удовлетворять условию: $F_{тр} \leqslant \mu \cdot N$.

Шаг 6. Человек вместе с диском карусели равномерно движется по окружности с центром в точке O. Поэтому в выбранной системе отсчёта проекция его ускорения на ось X положительна и равна модулю его центростремительного ускорения:

$$a_x = a_{цс} = \omega^2 \cdot R.$$

Вдоль оси Y человек не движется, поэтому $a_y = 0$.

Шаг 7. С учётом результатов шагов 4 и 6 система уравнений принимает вид:

$$N - m \cdot g = 0, \qquad (1)$$

$$F_{тр} = m \cdot \omega^2 \cdot R. \qquad (2)$$

Шаг 8. Таким образом, при равномерном движении по окружности *на человека со стороны карусели всё время действует сила трения покоя.* Эта сила удовлетворяет двум условиям: во-первых, в любой момент времени она направлена к центру O окружности, по которой движется человек; во-вторых, её модуль не меняется с течением времени и равен $F_{тр} = m \cdot \omega^2 \cdot R$.

Ответ: $F_{тр} = m \cdot \omega^2 \cdot R$.

Действие силы $\vec{F}_{тр}$ приводит к тому, что у человека есть центростремительное ускорение $\vec{a}_{цс}$. Это ускорение и обеспечивает равномерное движение человека по окружности, при котором непрерывно изменяется направление его скорости.

Модуль силы трения покоя должен удовлетворять условию: $F_{тр} \leqslant \mu \cdot N$. С учётом уравнения (2) имеем: $m \cdot \omega^2 \cdot R \leqslant \mu \cdot m \cdot g$. Поэтому угловая скорость вращения карусели должна удовлетворять неравенству:

$$\omega^2 \leqslant \mu \cdot \frac{g}{R}. \qquad (3)$$

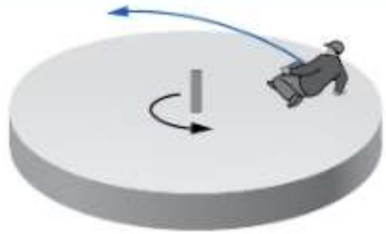


Рис. 68 Когда силы трения покоя недостаточно для создания центростремительного ускорения, человек не может двигаться по окружности вместе с вращающейся каруселью и соскальзывает с неё

Обозначим величину $\mu \cdot \frac{g}{R} = \omega^2_{кр}$. Тогда $\omega_{кр} = \sqrt{\mu \cdot \frac{g}{R}}$.

Следовательно, если угловая скорость карусели будет больше критического значения $\omega_{кр} = \sqrt{\mu \cdot \frac{g}{R}}$, то человек *не сможет равномерно двигаться по окружности, оставаясь неподвижным относительно карусели*. В этом случае силы трения покоя будет недостаточно для создания у человека необходимого центростремительного ускорения. В результате человек не может удержаться на карусели и соскальзывает с её поверхности (рис. 68).

Проведём анализ полученного выражения для $\omega_{кр}$. Видно, что чем больше коэффициент трения μ, тем с большей угловой скоростью ω может вращаться человек на карусели, оставаясь неподвижным относительно неё. Чем дальше находится человек от оси вращения (т. е. чем больше величина R), тем меньше $\omega_{кр}$. Следовательно, чтобы удержаться на вращающейся карусели, надо стараться, во-первых, увеличить коэффициент трения μ, а во-вторых, приблизиться к оси вращения, уменьшив тем самым величину R.

9. Анализ результата

Движение тела на поворотах

Задача 1. Движение тела на поворотах

Водитель, не сбавляя скорости, устанавливает руль так, что автомобиль на повороте движется по дуге окружности радиусом R с центром в точке O (рис. 72). Коэффициент трения между колёсами автомобиля и дорогой равен μ. Определите максимально возможный модуль скорости $\vec{v}$ автомобиля, при которой он не соскользнёт с трассы.

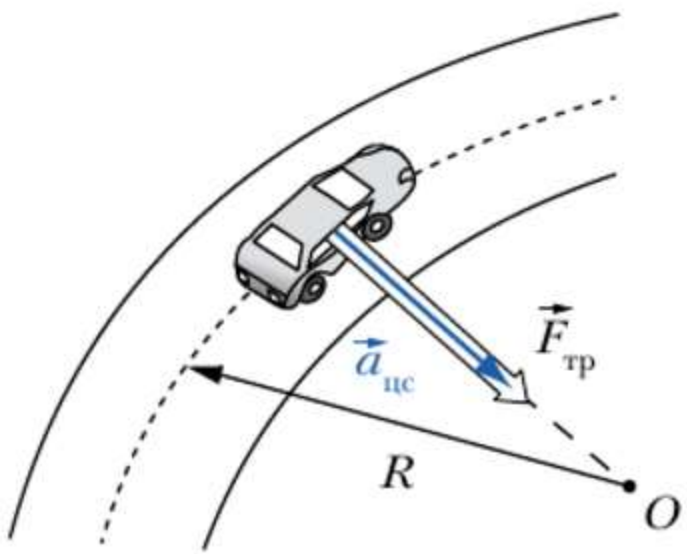


Рис. 72

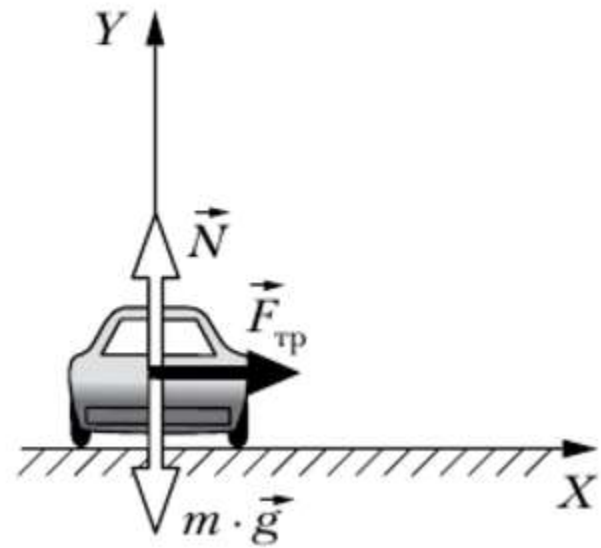


Рис. 73 При движении автомобиля по дуге окружности сила трения $\vec{F}_{тр}$ обеспечивает ему центростремительное ускорение

Движение автомобиля по мосту

Задача 2. Движение автомобиля по мосту

Автомобиль массой $m = 1$ т движется по выпуклому мосту, представляющему собой дугу окружности радиусом $r = 100$ м. Модуль скорости автомобиля постоянен и равен $v = 72$ км/ч. Определите модуль силы $\vec{P}$, с которой автомобиль действует на мост в его верхней точке.

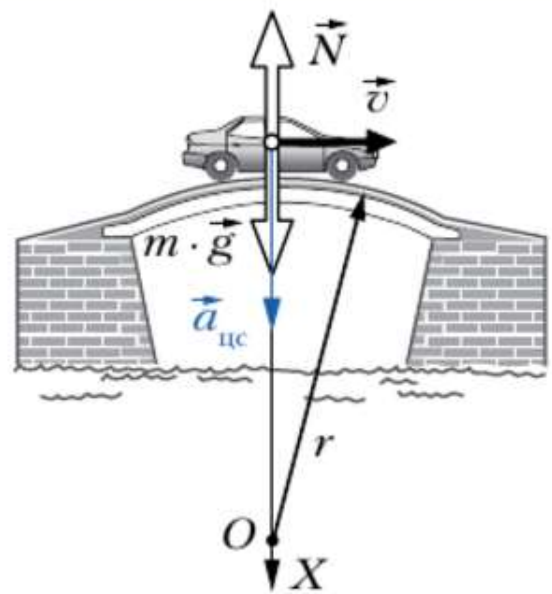


Рис. 75 Равномерное движение автомобиля по выпуклому мосту может быть представлено движением материальной точки по окружности

Движение планет. ИСЗ.

§19 Движение спутника вокруг планеты

§19 Движение планеты вокруг звезды

§19 Определение массы звезды

Движение спутников и планет. ИСЗ.

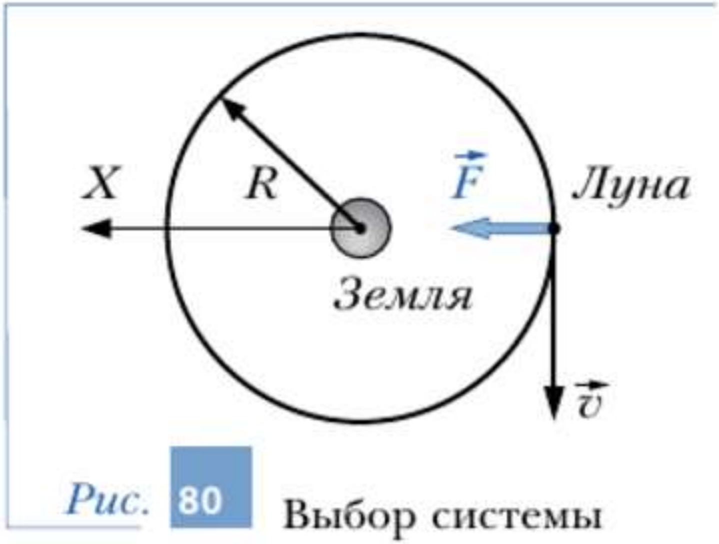


Рис. **80** Выбор системы отсчёта для определения модуля скорости движения Луны по круговой орбите

Задача 1

Определите модуль v скорости движения Луны относительно Земли, а также период T её обращения вокруг Земли, считая известными массу Земли $M_З$ и среднее расстояние R от Земли до Луны.

Алгоритмический подход к решению задач по динамике

10 класс

Динамика (прямолинейное движение)

§21 Движение тела под действием нескольких сил

§22 Движение взаимодействующих тел. Условие начала относительного движения

§22 Движение взаимодействующих тел. Неподвижный блок

§22 Движение взаимодействующих тел. Система блоков

§23 Анализ возможных вариантов движения и взаимодействия тел

Движение тела под действием нескольких сил

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Изображение действующих сил

По горизонтальной дороге разгоняется автомобиль массой m (рис. 118). Все колёса автомобиля ведущие. Коэффициент трения между колёсами и поверхностью дороги равен μ. Определите максимально возможное ускорение автомобиля.

Решение.

Шаг 0. Выбор модели.

Будем считать автомобиль материальной точкой, а влияние воздуха на движение пренебрежимо малым.

Шаг 1. Выбор ИСО.

Выберем в качестве тела отсчёта Землю. Ось X направим горизонтально вдоль дороги по ходу движения автомобиля, ось Y – вертикально вверх (рис. 119). Часы включим в момент начала разгона.

Шаг 2. Изображение на рисунке сил, действующих на тело.

Прежде чем изображать действующие на автомобиль силы, выясним причину появления у автомобиля ускорения. Каждый из вас знает, что если автомобиль с изношенными (практически гладкими) покрышками колёс стоит на гладком льду, то он не может стронуться с места без посторонней помощи. При этом работающий двигатель раскручивает колёса, которые проскальзывают, не создавая силы, вызывающей ускоре-

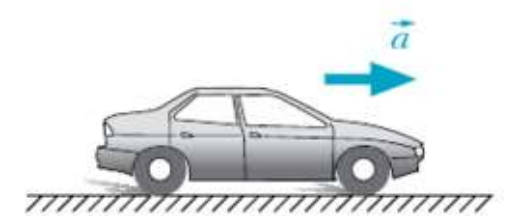


Рис. 118

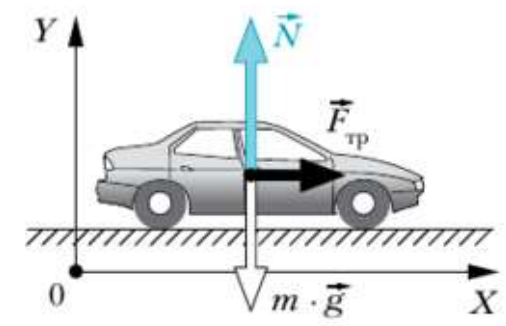


Рис. 119

3. Определение проекций сил на координатные оси

4. Запись уравнений движения по координатным осям

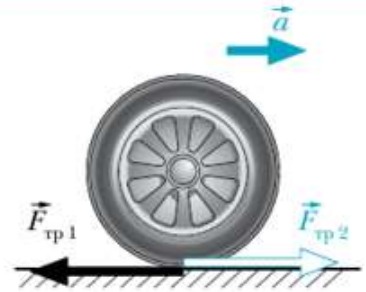


Рис. 120

ние автомобиля. Если же сила трения между покрышками колёс и поверхностью дороги отлична от нуля, то вращаемые двигателем колёса толкают поверхность дороги с силой трения $\vec{F}_{тр\,1}$ в направлении, противоположном направлению движения автомобиля (рис. 120). В соответствии с третьим законом Ньютона поверхность дороги также действует на вращаемые двигателем колёса в противоположном направлении с силой $\vec{F}_{тр\,2}$, равной по модулю силе $\vec{F}_{тр\,1}$. Действие этой силы и приводит к появлению у автомобиля ускорения. Именно по этой причине в гололёд рекомендуется использовать покрышки с шипами.

! Автомобиль разгоняется в результате действия на его ведущие колёса сил трения со стороны дороги.

Изобразим силы, действующие на автомобиль: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, силу реакции опоры $\vec{N}$, силу трения $\vec{F}_{тр}$ со стороны дороги (*см.* рис. 119).

Шаг 3. Определение проекций сил на координатные оси.

Рассмотрим вначале проекции сил на ось Y. Сила $\vec{F}_{тр}$ перпендикулярна этой оси, поэтому её проекция на ось Y равна нулю.

Направление силы $\vec{N}$ совпадает с положительным направлением оси Y. Поэтому её проекция на эту ось положительна и равна модулю этой силы: $N_y = N$. Напротив, направление силы тяжести $m \cdot \vec{g}$ противоположно положительному направлению оси Y. Поэтому её проекция на ось Y отрицательна: $m \cdot g_y = -m \cdot g$.

Таким образом, сумма проекций на ось Y всех сил, действующих на автомобиль, равна $N - m \cdot g$.

Теперь рассмотрим проекции сил на ось X. Проекция силы $\vec{F}_{тр}$ на ось X положительна и равна её модулю: $F_{тр\,x} = F_{тр}$. Проекции сил $\vec{N}$ и $m \cdot \vec{g}$ на ось X равны нулю, так как эти силы перпендикулярны оси X.

Следовательно, сумма проекций на ось X всех действующих на автомобиль сил равна $F_{тр}$.

Шаг 4. Запись уравнений движения по координатным осям.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси:

$$F_{тр} = m \cdot a_x; \qquad (\textit{на ось } X)$$

$$N - m \cdot g = m \cdot a_y. \qquad (\textit{на ось } Y)$$

5. Использование индивидуальных свойств сил

6. Уравнение кинематических связей

7. Составление системы уравнений

8. Решение системы уравнений

Шаг 5. Использование индивидуальных свойств сил.

На этом шаге в виде уравнений записывают выражения для сил, которые известны. Ускорение автомобиля в направлении движения создаётся только силой $\vec{F}_{тр}$. Поэтому чем больше модуль силы трения, тем бо́льшим будет ускорение автомобиля. Поскольку по условию задачи все колёса автомобиля ведущие, то модуль максимально возможной силы трения определяется модулем действующей на автомобиль суммарной силы реакции опоры и коэффициентом трения μ:

$$F_{тр} = \mu \cdot N.$$

Шаг 6. Уравнения кинематических связей.

На этом шаге в виде уравнений записывают условия для проекций ускорения (кинематических величин) тела, которые следуют из данных задачи. В задаче проекция $a_y = 0$. Это следует из того, что в выбранной системе отсчёта автомобиль движется только вдоль оси X.

Отметим, что шаги 5 и 6 не всегда используют при решении задач. Необходимость применения этих шагов определяется условием каждой конкретной задачи.

Шаг 7. Составление системы уравнений.

Сведём полученные уравнения в систему и присвоим каждому из них номер и название:

$N - m \cdot g = m \cdot a_y$; (1) (*проекция второго закона Ньютона на ось Y*)

$F_{тр} = m \cdot a_x$; (2) (*проекция второго закона Ньютона на ось X*)

$F_{тр} = \mu \cdot N$; (3) (*выражение для модуля максимальной силы трения*)

$a_y = 0$. (4) (*отсутствие ускорения вдоль оси Y*)

Шаг 8. Решение системы уравнений.

Подставив уравнение (4) в (1), получим: $N = m \cdot g$. Отсюда с учётом уравнения (3) определяем модуль максимальной силы трения: $F_{тр} = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g$. Подставив это значение $F_{тр}$ в уравнение (2), получаем:

$$\mu \cdot m \cdot g = m \cdot a_x.$$

Следовательно, $a_x = \mu \cdot g$.

Шаг 9. Анализ полученного результата и расчёт численного ответа.

Прежде всего отметим, что размерность ответа имеет размерность ускорения. Поэтому с точки зрения размерности полученный ответ верен.

Кроме того, из полученного выражения для a_x видно, что при заданных условиях и выбранной модели ускорение автомобиля не зависит от его массы. При этом чем больше коэффициент трения, тем большее по модулю ускорение может приобрести автомобиль. Поскольку коэффициент трения автомобильных шин о поверхность дороги обычно лежит в пределах от 0,5 до 0,9, то при наличии достаточно мощного двигателя модуль ускорения автомобиля теоретически может достигать значения 5–9 м/с^2.

Ответ: модуль максимально возможного ускорения автомобиля $a = \mu \cdot g$.

9. Анализ результата и расчёт численного ответа

Движение тела под действием нескольких сил

К потолку вагона железнодорожного поезда на лёгкой нити подвешен маленький шарик массой m. Вагон движется по горизонтальному прямолинейному участку пути, разгоняясь с постоянным ускорением. В результате нить, удерживающая шарик, отклонена во время разгона от вертикали на угол α. Определите модуль ускорения вагона и силу, с которой нить действует на шарик.

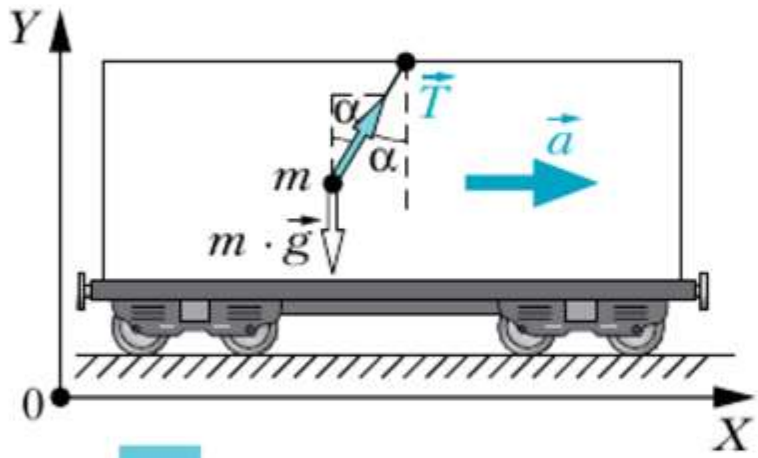


Рис. 121

Движение взаимодействующих тел. Условие начала относительного движения

На льду озера лежит доска массой M. На доске стоит человек массой m (рис. 122). Коэффициент трения между доской и льдом равен μ. Определите минимальное по модулю относительно поверхности льда ускорение, с которым должен начать двигаться по доске человек, чтобы доска начала скользить по льду.

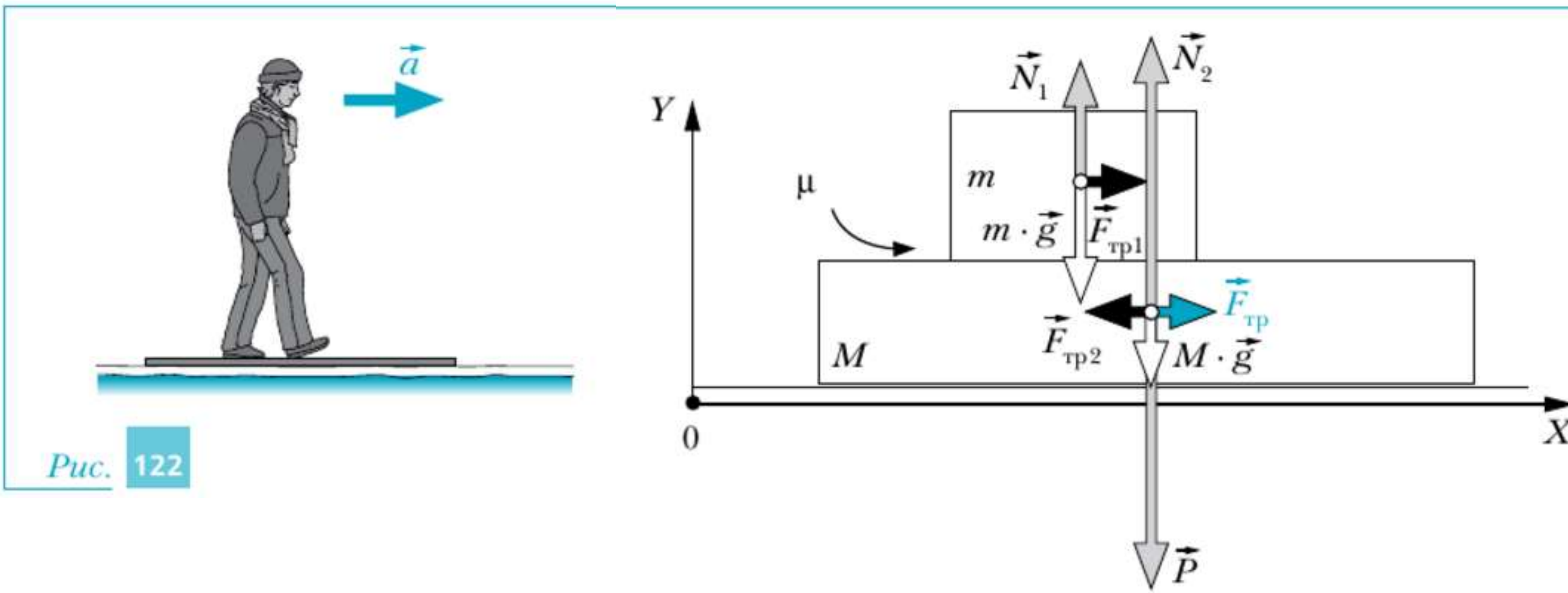
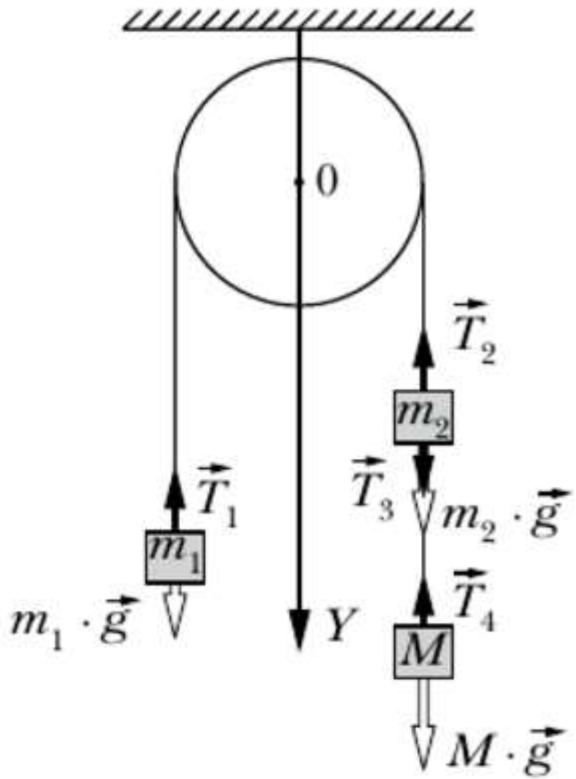


Рис. 122

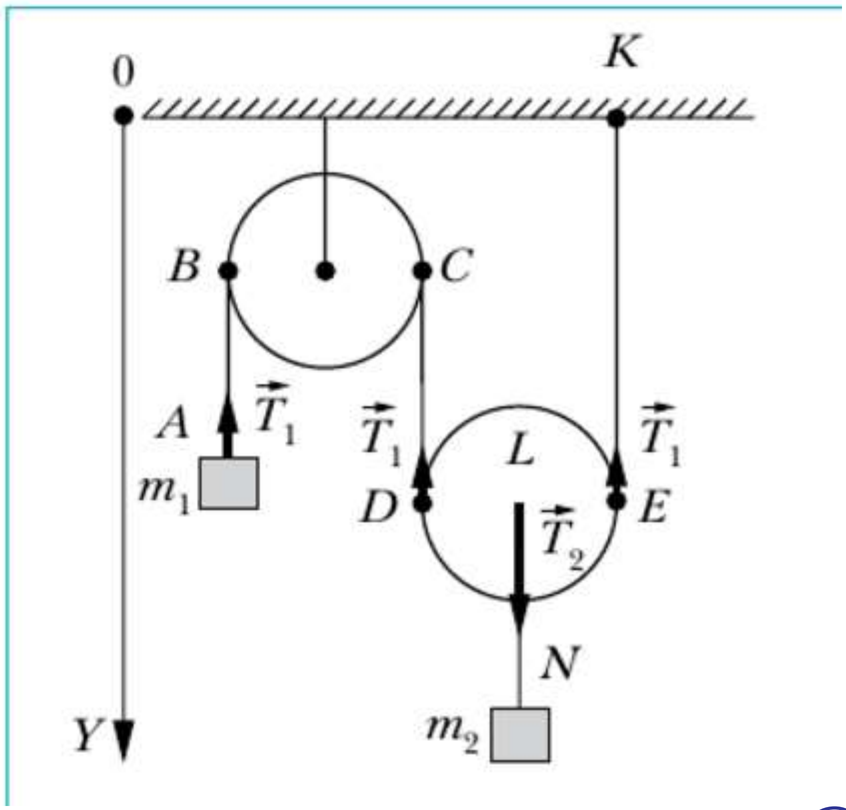
Движение взаимодействующих тел. Неподвижный блок

Через неподвижный относительно Земли блок перекинута гладкая лёгкая нерастяжимая нить, к концам которой прикрепляют грузы массами m_1 и m_2 (рис. 124). К грузу массой m_2 снизу прикрепляют также лёгкую нерастяжимую нить, на другом конце которой висит груз массой M. Грузы одновременно отпускают. Определите ускорение груза массой m_1 и модуль силы натяжения нити, действующей на груз M.



Движение взаимодействующих тел. Система блоков

На рис. 125 показана система, состоящая из неподвижного и подвижного лёгких блоков. Массы грузов равны m_1 и m_2. Прикреплённые к грузам нити можно считать нерастяжимыми, лёгкими и гладкими. Определите ускорения грузов.



Анализ возможных вариантов движения и взаимодействия тел

Доска массой M лежит на гладкой горизонтальной поверхности, неподвижной относительно Земли. На доске лежит брусок массой m (рис. 128). Коэффициент трения между бруском и доской равен μ. Брусок начинают тянуть в горизонтальном направлении с силой $\vec{F}$. Определите ускорение, с которым начнёт двигаться доска относительно поверхности.

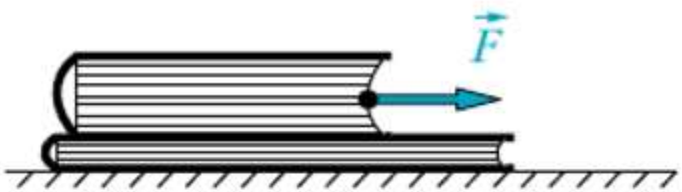
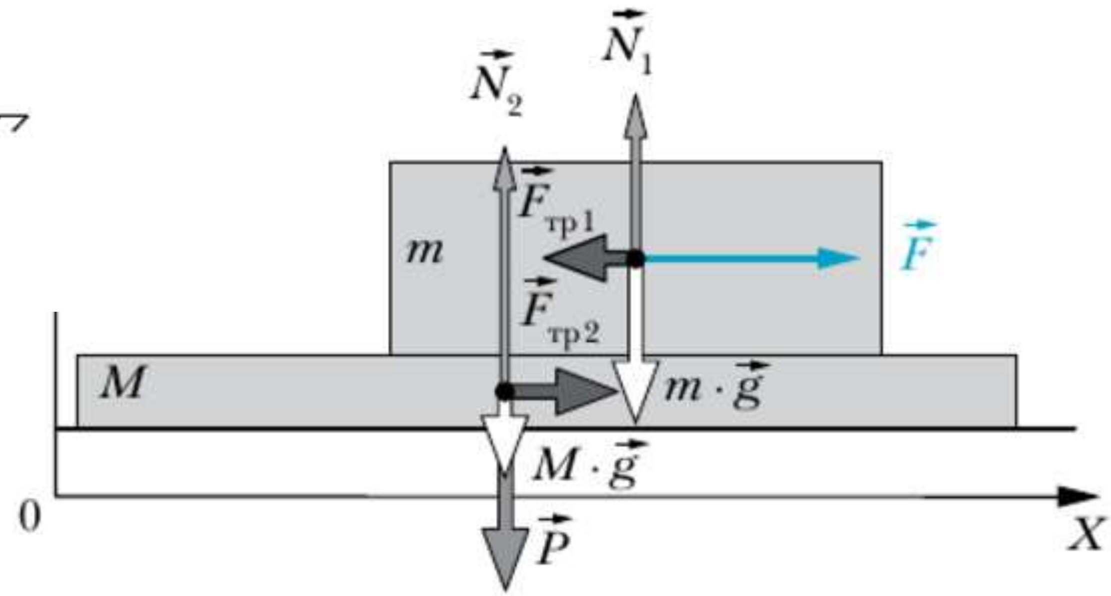


Рис. 127



Динамика. Движение по окружности.

§24 Равномерное движение по окружности

§25 Равноускоренное движение по окружности

§26 Закон всемирного тяготения

Третий закон Кеплера

§26 Закон всемирного тяготения

Первая космическая скорость

Равномерное движение по окружности

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

3. Изображение сил

4. Определение проекций сил

Маленький шарик массой m подвешен к потолку на лёгкой нерастяжимой нити длиной L. Шарик равномерно движется по окружности вокруг вертикальной оси, проходящей через точку подвеса, как показано на рис. 132. Определите угловую скорость движения шарика, если нить всё время составляет с вертикалью угол α.

Решение.

Шаг 0. Так как нас не интересуют различия в движении разных точек шарика, будем считать его материальной точкой. При решении задачи будем пренебрегать действием сил трения со стороны воздуха на движущиеся тела. Кроме того, по условию задачи нить лёгкая, и её можно считать невесомой.

Шаг 1. Выберем инерциальную систему отсчёта, связав её с Землёй. За начало отсчёта примем неподвижный относительно Земли центр окружности, по которой движется шарик (точка O на рис. 132). Координатную ось X проведём в направлении от точки A, в которой в рассматриваемый момент времени находится шарик, к началу отсчёта — точке O. Ось Y направим вертикально вверх.

Шаг 2. Изобразим силы, действующие на шарик: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, силу натяжения нити $\vec{F}$.

Шаг 3. Определим проекции сил на координатные оси.

Проекция силы $\vec{F}$ на ось X положительна: $F_x = F \cdot \sin\alpha$. Проекция силы $\vec{F}$ на ось Y положительна: $F_y = F \cdot \cos\alpha$. Проекция силы тяжести $m \cdot \vec{g}$ на ось Y отрицательна и равна взятому со знаком «минус» модулю силы тяжести: $m \cdot g_y = -m \cdot g$.

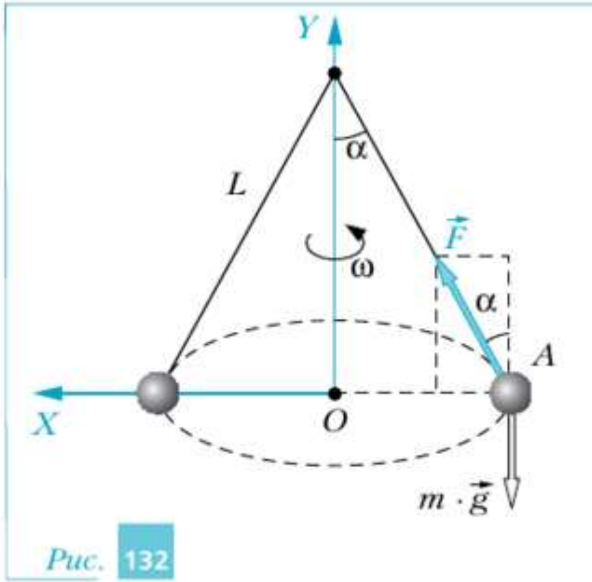


Рис. 132

4. Запись уравнений движения

5. Использование индивидуальных свойств сил

6. Уравнение кинематических связей

7. Составление системы уравнений

8. Решение системы уравнений

Шаг 4. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси:

$$F \cdot \cos\alpha - m \cdot g = m \cdot a_y;$$

$$F \cdot \sin\alpha = m \cdot a_x.$$

Шаг 5. Не используют.

Шаг 6. Шарик равномерно движется по окружности с центром в точке O. Радиус этой окружности $R = L \cdot \sin\alpha$. Поэтому в выбранной системе отсчёта проекция его ускорения на ось X положительна и равна модулю его центростремительного ускорения:

$$a_x = a_{\text{цс}} = \omega^2 \cdot R = \omega^2 \cdot L \cdot \sin\alpha.$$

Вдоль оси Y шарик не движется, поэтому $a_y = 0$.

Шаг 7. С учётом полученных результатов система уравнений имеет вид:

$$F \cdot \cos\alpha - m \cdot g = 0; \qquad (1)$$

$$F \cdot \sin\alpha = m \cdot \omega^2 \cdot L \cdot \sin\alpha. \qquad (2)$$

Шаг 8. Выразив F из уравнения (1) и подставив его в (2), получаем:

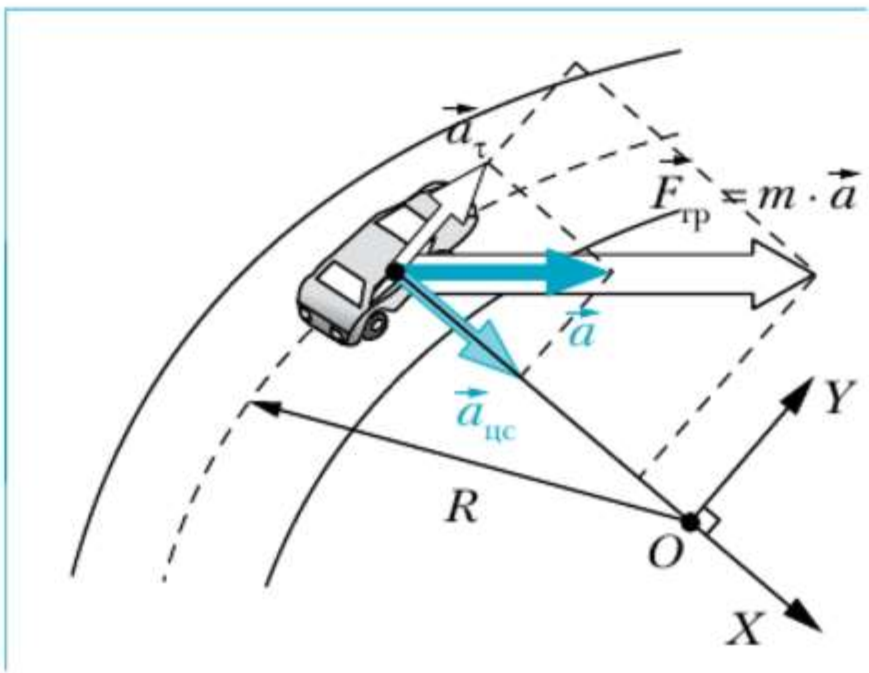
$$\frac{m \cdot g}{\cos\alpha} = m \cdot \omega^2 \cdot L.$$

Следовательно, $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cdot \cos\alpha}}$. Отметим, что угловая скорость движения шарика не зависит от его массы.

Ответ: угловая скорость движения шарика $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cdot \cos\alpha}}$.

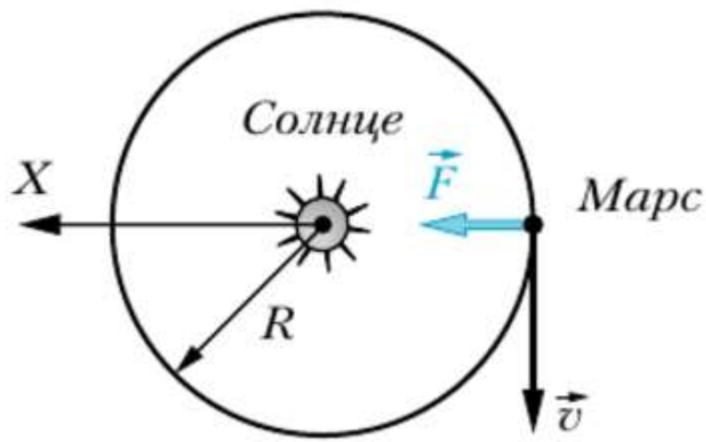
Равноускоренное движение по окружности

Гоночный автомобиль со всеми ведущими колёсами начинает движение по трассе, которая представляет собой дугу окружности радиусом R (рис. 135). Модуль скорости автомобиля равномерно нарастает с течением времени так, что модуль его тангенциального ускорения равен a_τ. Коэффициент трения между колёсами автомобиля и дорогой равен μ. Определите, через какой промежуток времени t после старта автомобиль, двигаясь равноускоренно, соскользнёт с трассы.



Закон всемирного тяготения.
Третий закон Кеплера

Из астрономических наблюдений известно, что период обращения Марса вокруг Солнца $T = 1,88$ земного года, а удаление Марса от Солнца (радиус орбиты Марса) $R = 2,25 \cdot 10^{11}$ м. Определите на основании этих данных массу Солнца.



Шаг 9. Проведём анализ полученного ответа. Преобразуем уравнение (4) к виду:

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2}.$$

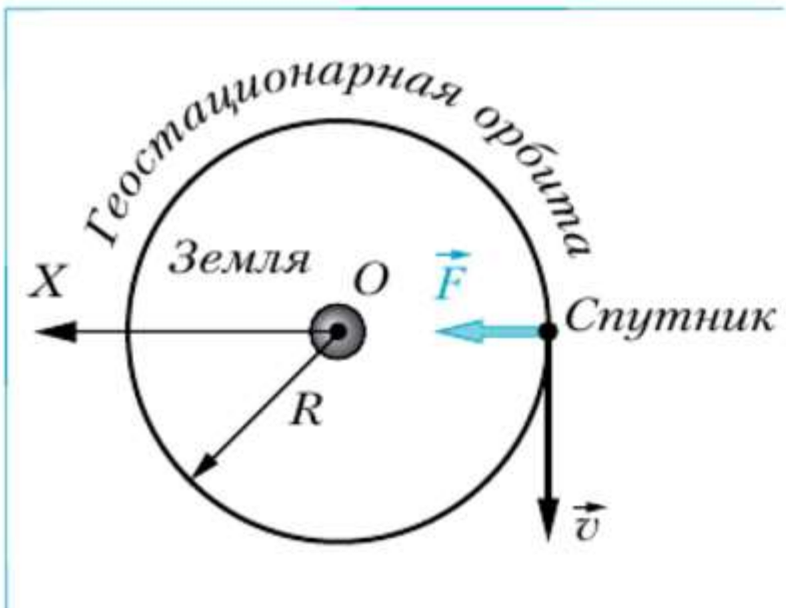
Обратим внимание на то, что *отношение куба радиуса орбиты планеты к квадрату периода её обращения не зависит от массы планеты*, а определяется только массой звезды (Солнца), вокруг которой она движется.

Это отношение одинаково для всех планет Солнечной системы. Данный факт был установлен немецким астрономом Иоганном Кеплером (1571–1630) при обработке результатов астрономических наблюдений ещё до открытия Ньютоном закона всемирного тяготения. Постоянство отношения куба радиуса орбиты планеты к квадрату периода её обращения называют *третьим законом Кеплера*.

9. Анализ результата

Закон всемирного тяготения.
Первая космическая скорость

Рассчитайте радиус круговой орбиты геостационарного спутника. Оцените модуль v скорости этого спутника относительно инерциальной системы отсчёта, связанной с центром Земли и удалёнными звёздами.



Алгоритм решения задач по динамике

№	Шаг
0	Выбор модели
1	Выбор ИСО
2	Изображение и запись сил, действующих на тело
3	Запись проекций сил
4	Уравнения движения. (*) III закон Ньютона
5	(*) Использование индивидуальных свойств сил
6	(*) Уравнения кинематических связей
7	Составление системы уравнений
8	Решение системы уравнений
9	Анализ результата и численное решение

ЛИНИЯ УМК ФИЗИКА 7 – 11 КЛАССЫ

Грачёв А.В. и др.

ФП № 1.2.5.1.3.1
ФП № 1.2.5.1.3.2
ФП № 1.2.5.1.3.3

ФП № 1.3.5.1.5.1
ФП № 1.3.5.1.5.2

- Инновационный УМК
- Систематизация физических знаний
- Система обучения решению задач
- Оптимальный УМК для подготовки к ЕГЭ, ОГЭ, олимпиадам

Состав УМК:

- Учебник в печатной и электронной формах
- Рабочая программа
- Проектирование учебного курса
- Рабочие тетради
- Тетради для лабораторных работ

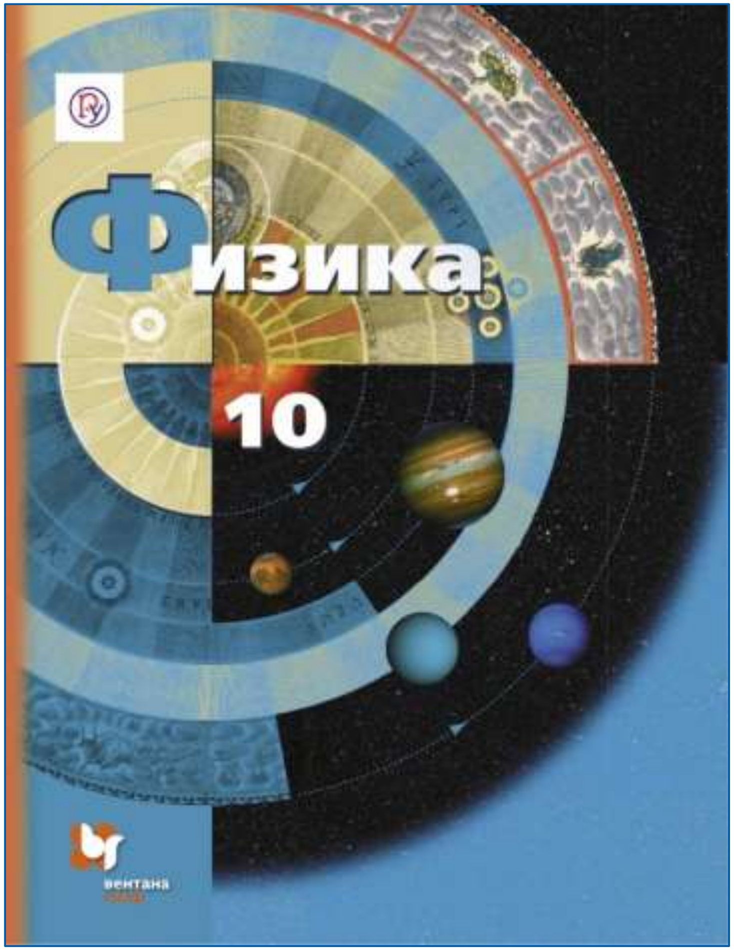
УМК «Физика» А.В. Грачёва и др. 7 – 9 класс

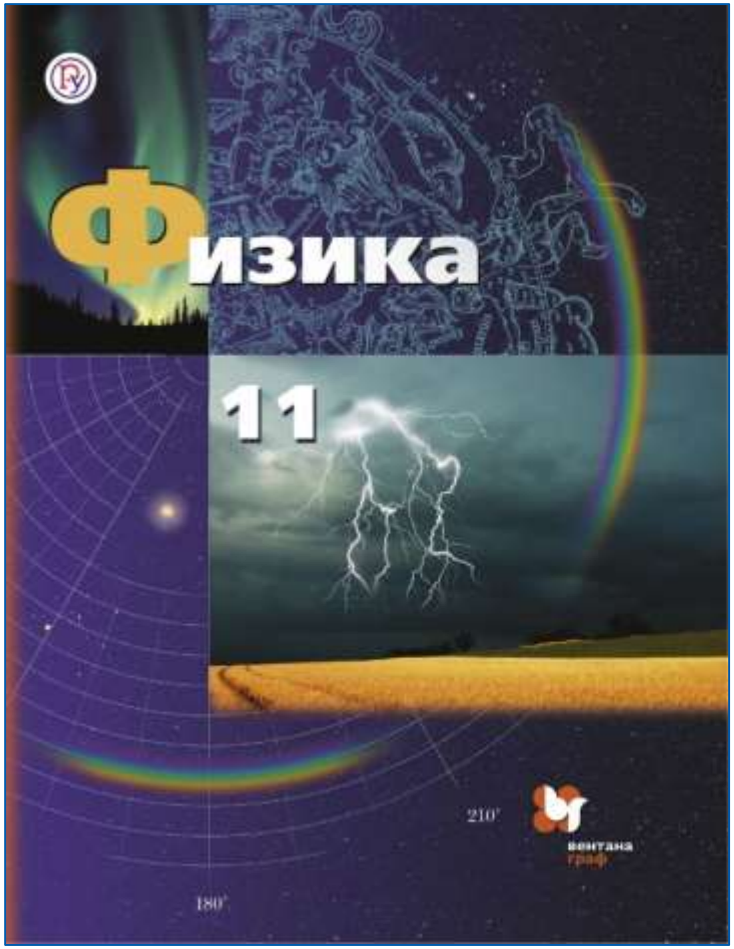
1.2.5.1.3.1

1.2.5.1.3.2

1.2.5.1.3.3

УМК «Физика» А.В. Грачёва и др. 10 – 11 класс





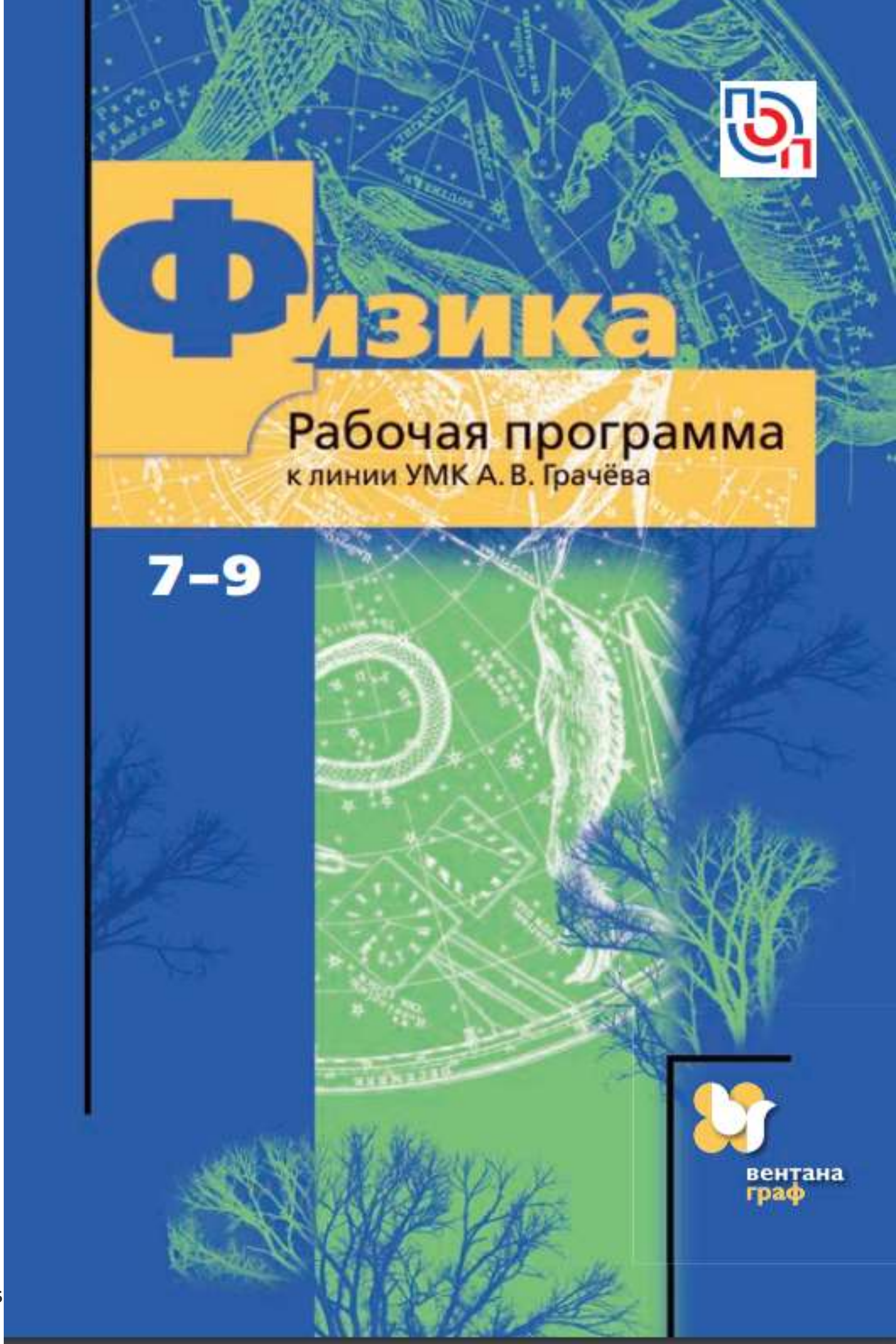
1.3.5.1.5.1

1.3.5.1.5.2

ПРОГРАММА

В свободном доступе

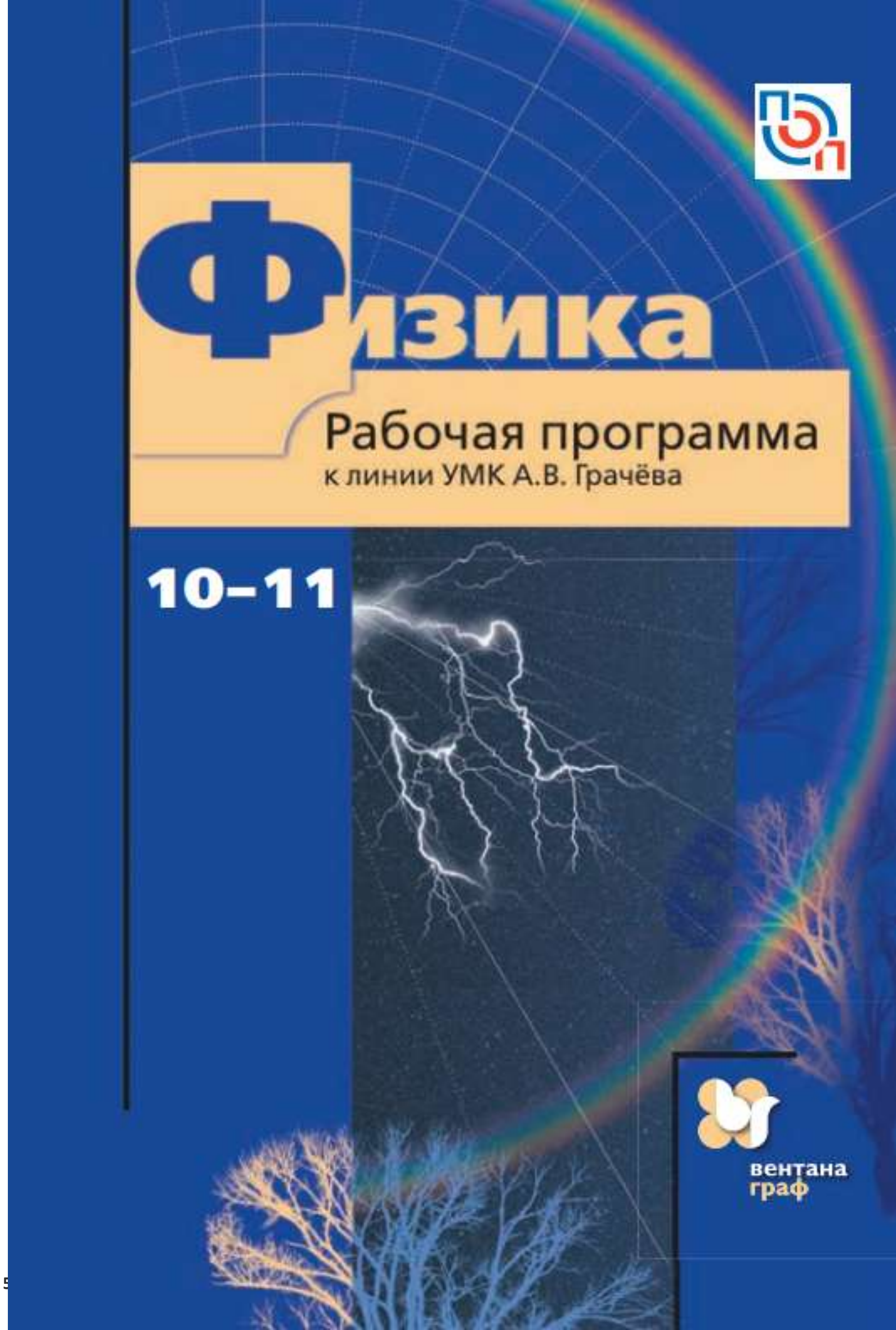
СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ



ПРОГРАММА

В свободном доступе

СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ



Методические пособия

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ]

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ]

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ]

Рабочие тетради 7 класс

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

Рабочие тетради 8 класс

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

Рабочие тетради 9 класс

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

Рабочие тетради 10 класс

ПОСМОТРЕТЬ ПОСМОТРЕТЬ ПОСМОТРЕТЬ ПОСМОТРЕТЬ

Рабочие тетради 11 класс

ПОСМОТРЕТЬ ПОСМОТРЕТЬ ПОСМОТРЕТЬ ПОСМОТРЕТЬ

Тетради для лабораторных работ

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

корпорация российский учебник
дрофа
вентана граф

Тетради для лабораторных работ

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

Электронная форма учебника

Бесплатно получить электронные формы учебников можно на сайте https://lecta.rosuchebnik.ru/

по промо-кодам:

UMK2019

5books

rosuchebnik.ru, росучебник.рф

Москва, Пресненская наб., д. 6, строение 2
+7 (495) 795 05 35, 795 05 45, info@rosuchebnik.ru

Нужна методическая поддержка?

Методический центр
8-800-2000-550 (звонок бесплатный)
metod@rosuchebnik.ru

Хотите купить?

LECTA
Цифровая среда школы
lecta.rosuchebnik.ru

Отдел продаж
sales@rosuchebnik.ru

Хотите продолжить общение?

youtube.com/user/drofapublishing
fb.com/rosuchebnik
vk.com/ros.uchebnik
ok.ru/rosuchebnik

Программа лояльности для педагогов

росучебник.рф/лояльность

1

Зарегистрируйтесь на сайте **rosuchebnik.ru** или **LECTA**

2

Накапливайте баллы:

- посещайте вебинары и семинары
- участвуйте в конкурсах
- пользуйтесь сервисами **LECTA**
- совершайте покупки в магазинах **LECTA** и **book24.ru**
- оставляйте отзывы о нашей продукции
- + и еще 20 других активностей

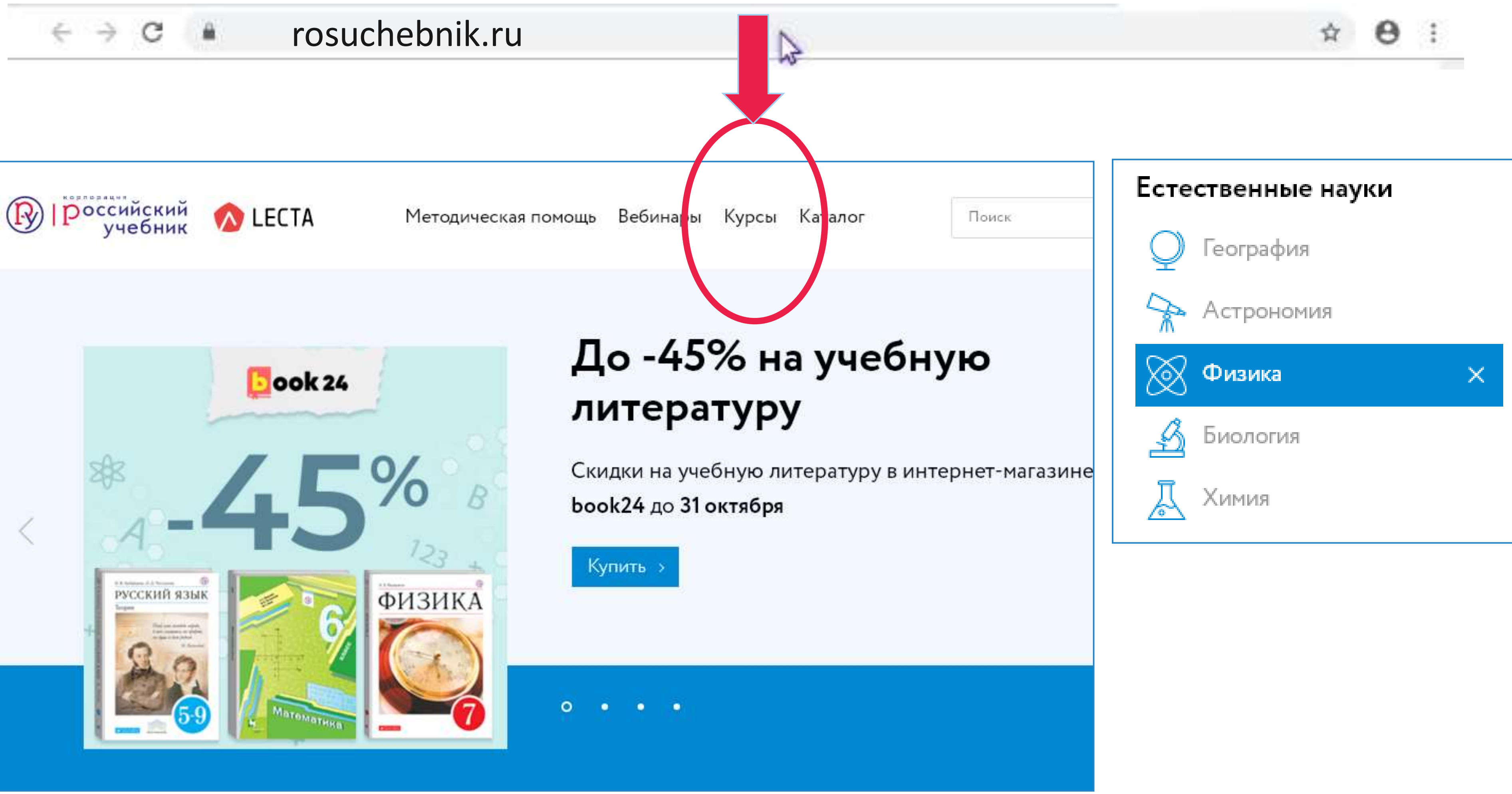
40 баллов **за посещение мероприятия и за отзыв на сайте rosuchebnik.ru**

3

Получайте подарки и бонусы

Получайте скидки на продукцию корпорации «Российский учебник» и наших партнеров, а также подарки – бесплатные книги и курсы повышения квалификации

Курсы повышения квалификации



в любое время, в любом месте

удостоверение установленного образца

лицензия

Серия вебинаров «Решение задач»

- Кинематика
- Динамика
- Законы сохранения в механике
- Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика

Опаловский Владимир Александрович

Методист по физике и астрономии корпорации «Российский учебник»

- ✓ Учитель высшей квалификационной категории
- ✓ Педагогический стаж 15 лет
- ✓ Кандидат технических наук

Opalovskiy.VA@rosuchebnik.ru