ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕСИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ГОУ ВПО ИГУ)
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

«Механика».
Самостоятельная работа студентов

Методические указания

Иркутск 2005 г

Печатается по решению учебно-методического совета
Иркутского государственного университета

Рецензент: Доктор физ. – мат. наук, профессор кафедры электроники твердого тела М.С. Мецик

Составитель: Л.А. Щербаченко доктор техн. наук, профессор кафедры общей физики ИГУ

«Механика» Самостоятельная работа студентов. Методические указания –Иркутск: ИГУ, 2005 – с.14

Методические указания содержат два задания для самостоятельной работы. В задания включены вопросы теоретического курса и набор типичных задач. Кроме того, имеются рекомендации к решению некоторых задач. Предназначены для студентов 1 курса физических специальностей университета.

Самостоятельная работа занимает важную роль в процессе обучения студентов в вузе. Механика является первым разделом курса общей физики, который студент изучает в университете. По учебному плану студент в первом семестре выполняет два самостоятельных задания, содержание которых и методические указания по их выполнению приведены здесь.

В изучении курса физики решение задач имеет исключительно большое значение и им отводится значительная часть курса.

Решение и анализ задач позволяют понять и запомнить основные законы и формулы физики, создают представление об их характерных особенностях и границах применения. Задачи развивают навык в использовании общих законов материального мира, для решения конкретных вопросов, имеющих практическое и познавательное значение. Умение решать задачи является лучшим критерием оценки глубины изучения программного материала и его усвоения.

Оба задания включают в себя "качественные" вопросы и задачи, которые, как показывает опыт, представляют значительно большие трудности, чем выводы формул. Использование графического материала, рисунка позволяет четче выявить суть вопроса, способствует развитию у студентов навыков самостоятельного мышления, способности анализировать физические явления. Эти задачи входят в число обязательных для решения всеми студентами, наряду с задачами, которые преподаватель указывает на практических занятиях.

Индивидуальное задание для студента состоит из набора типичных задач, решаемых стандартными методами, номер варианта указывается преподавателем.

В течение семестра в часы консультаций студент может индивидуально работать с преподавателем по выполнению задания и к твердо установленному сроку должен сдать выполненное задание (в отдельной тетради). Сдача задания в более поздний срок и, тем более, в конце семестра, запрещается.

В основу каждой физической задачи положено то или иное частное проявление одного или нескольких фундаментальнее законов природы и их следствий. Поэтому, прежде чем приступать к решению задач какого-либо раздела курса, следует тщательно проработать теорию вопроса по рекомендуемой литературе и внимательно разобрать иллюстрирующие ее примеры. Без твердого знания теории нельзя рассчитывать на успешное решение и анализ даже сравнительно простых задач, не говоря уже о более сложных.

Межсессионный контроль работы студента осуществляется путем оценки своевременно выполненных самостоятельных заданий, результатов коллоквиума, проводимого по темам и вопросам, указанным в задании 1, а также работы студента в лаборатории физического практикума. В случае активной и полноценной самостоятельной работы, проявленных глубоких знаниях по предмету, итоговая экзаменационная оценка по курсу может быть выставлена студенту на основе текущей аттестации его работы в течение семестра.

Задание 1. Кинематика материальной точки. Преобразование координат. Следствия преобразований Лоренца.

1. Подготовить вопросы, выносимые на коллоквиум (с.8).
2. Выполнить индивидуальное задание 1 (с.11-12).

Примеры решения задач.

Множество задач, относящихся к разделу «Кинематика материальной точки», характеризуются разнообразием содержания, задаваемых условий, исходных данных, поставленных в них вопросов и, следовательно, их решения. С целью облегчения студентам выбора метода решения той или иной задачи ниже предлагается следующая систематизация задач этого раздела курса общей физики по способу их решения.

1. По известному закону движения в векторной или координатной форме необходимо определить характеристики движения материальной точки (векторы скорости, ускорения, их абсолютные значения и т.д.).

При решении задач такого типа используется способ дифференцирования. Скорость находится в результате однократного дифференцирования функций, выражающих закон движения, ускорение - двукратного дифференцирования по времени тех же функций. Можно определить абсолютное значение и направление векторов скорости $\vec{\upsilon}$ и ускорения $\vec{a}$ в любой момент времени. Можно получить, ответы и на ряд других вопросов: найти средние значения $\langle\vec{\upsilon}\rangle$ и $\langle\vec{a}\rangle$, их абсолютные значения, траекторию движения точки $y = y(x)$, исключив ареол, и т.д.

Пример. Радиус-вектор точки М относительно начала координат меняется со временем t по закону $\vec{r} = At\vec{i} - Bt^2\vec{j}$. Найти:

а) уравнение траектории точки $y(x)$; изобразить ее график;

б) зависимости от времени скорости $\vec{\upsilon}$ и ускорения $\vec{a}$ и модулей этих величин;

в) зависимость от времени угла α между векторами $\vec{\upsilon}$ и $\vec{a}$;

г) средний вектор скорости за первые t секунд движения и модуль этого вектора.

Решение

$\vec r = At\vec i - Bt^2\vec j$

Найти:

а) $y = y(x)$

б) $\vec u = \vec u(t)$

$u = u(t)$

$\vec a = \vec a(t)$

$a = a(t)$

в) $a = f(t)$

г) $\langle \vec u \rangle_t = ?$

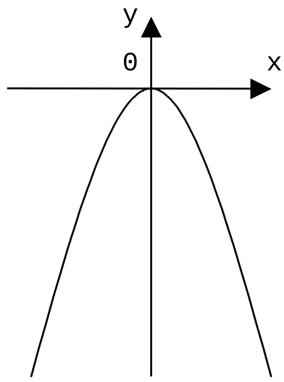
$\left| \langle \vec u \rangle_t \right| = ?$

а) $\left.\begin{array}{l} x = At \\ y = -Bt^2 \end{array}\right\}$

$t = \dfrac{x}{A}$

$y = -\left(\dfrac{B}{A^2}\right)x^2$

парабола



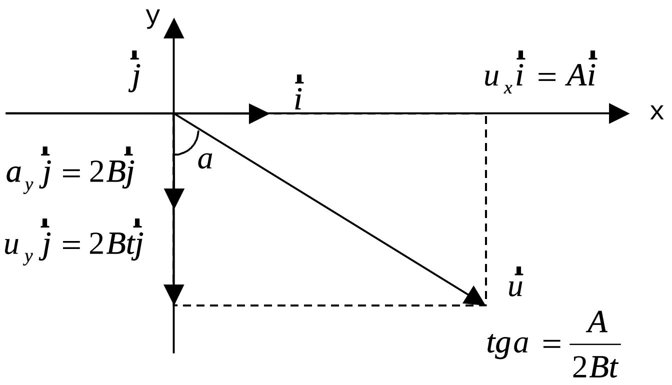
б) $\vec u = \dfrac{d\vec r}{dt} = A\vec i - 2Bt\vec j$

$\vec a = \dfrac{d\vec u}{dt} = -2B\vec j = const$

$u = |\vec u| = \sqrt{\vec u^{\,2}} = \sqrt{A^2 + 4B^2t^2}$

$a = |\vec a| = \sqrt{\vec a^{\,2}} = 2B$

в)



г) $\langle \vec u \rangle_t = \dfrac{\Delta \vec r}{\Delta t} = \dfrac{\vec r_t - \vec r_0}{t - 0} = \dfrac{At\vec i - Bt^2\vec j}{t} = A\vec i - Bt\vec j$

$\left|\langle \vec u \rangle\right|_t = \sqrt{\langle \vec u \rangle_t^{\,2}} = \sqrt{A^2 + B^2t^2}$

2. Закон движения не задан, но указаны условия движения (в частности, вид силового поля), требуется определить характеристики движения материальной точки.

При решении задач этого типа также используется метод дифференцирования. Закон движения точки можно установить, используя заданные начальные условия.

Пример. Небольшое тело бросили под углом a к горизонту с начальной скоростью $\vec u_0$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти:

а) уравнение движения (закон движения) в векторной форме;

б) уравнение движения в координатной форме;
в) скорость тела $\vec{\upsilon}$ как функцию времени;
г) средний вектор скорости за первые t секунд движения.

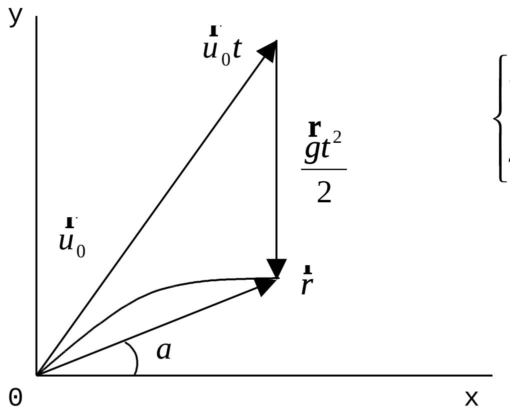
Решение

Дано: $\vec{\upsilon}_0$, α, $\vec{g}$

Найти:
а) $\vec{r}(t) = ?$
б) $x(t) = ?$, $y(t) = ?$
в) $\vec{\upsilon}(t) = ?$
г) $\langle \vec{\upsilon} \rangle_t = ?$

а) $\vec{r} = \vec{\upsilon}_0 t + \dfrac{\vec{g}t^2}{2}$

б) спроектируем $\vec{r}(t)$ на координатные оси:



$$\begin{cases} x = \upsilon_0 t \cos\alpha \\ y = \upsilon_0 t \sin\alpha - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases}$$

в) $\vec{\upsilon} = \dfrac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{g}t$

$$\begin{cases} \upsilon_x = \dfrac{dx}{dt} = \upsilon_0 \cos\alpha \\ \upsilon_y = \dfrac{dy}{dt} = \upsilon_0 \sin\alpha - gt \end{cases}$$

г) $\langle \vec{\upsilon} \rangle_t = \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \dfrac{\vec{r}(t) - \vec{r}(0)}{\Delta t} = \dfrac{\vec{\upsilon}_0 t + \dfrac{\vec{g}t^2}{2}}{t}$

$\langle \vec{\upsilon} \rangle_t = \vec{\upsilon}_0 + \dfrac{\vec{g}t}{2}$

3. По заданной зависимости скорости и (или) ускорения материальной точки от временя следует определить закон ее движения, после чего возможно, получить ответа на поставленные в задаче вопросы.

При решения такого рода задач используется способ интегрирования скорости или ускорения (двукратное). Причем задача имеет однозначное решение, если кроме скорости или ускорения заданы еще начальные условия: проекция скорости и координаты точки в начальный момент времени. Это необходимо для определения произвольных постоянных, появляющихся в результате интегрирования.

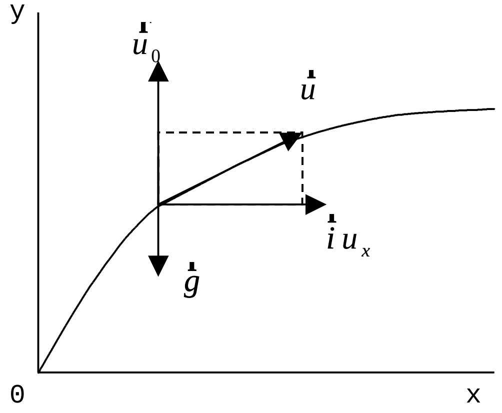
Пример. Воздушный шар начинает подниматься с поверхности Земли. Скорость его подъема постоянна и равна u_0. Благодаря ветру шар приобретает горизонтальную компоненту скорости $ux = Ay$, где A – постоянная, а y – высота подъема. Найти зависимости от высоты подъема: а) величины сноса шара $x(y)$; б) полного, тангенциального и нормального ускорений шара.

Решение

$u_0 - const$

$u_x = Ay$

$A = const$



$$\begin{cases} y = u_0 t & (1) \\ x = \int_0^t u_x dt & (2) \end{cases}$$

Найти:

а) $x(y) = ?$

б) $a(y) = ?$

$a_t(y) = ?$

$a_n(y) = ?$

С учетом (I)

$$x = \int_0^t Aydt = \int_0^t Au_0 tdt = \frac{Au_0}{2}t^2$$

Из (I) следует $t = \dfrac{y}{u_0}$. Поэтому $x = \dfrac{Au_0}{2} \cdot \dfrac{y^2}{u^2{}_0} = \dfrac{Ay^2}{2u_0}$

Итак, $x = \dfrac{A}{2u_0}y^2$;

б) $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{A^2y^2 + u_0^2} = \sqrt{A^2u_0^2t^2 + u_0^2} = u_0\sqrt{A^2t^2 + 1}$

Тангенциальное ускорение

$$a_t = \frac{du}{dt} = \frac{d}{dt}\left(u_0\sqrt{A^2t^2+1}\right) = u_0\frac{2A^2t}{2\sqrt{A^2t^2+1}} = u_0\frac{A^2\dfrac{y}{u_0}}{\sqrt{\dfrac{A^2y^2+u_0^2}{u_0^2}}} = \frac{A^2u_0y}{\sqrt{A^2y^2+u_0^2}},$$

или $a_t = \dfrac{A^2}{\sqrt{1+\left(\dfrac{Ay}{u_0}\right)^2}}y$.

Из условия $a^2 = a^2x + a_y^2$ найдем полное ускорение

$$a_x = \frac{du_x}{dt} = \frac{d}{dt}(Au_0t) = Au_0$$

$a_y = \dfrac{du_y}{dt} = \dfrac{du_0}{dt} = 0$. Следовательно $a^2 = A^2u_0^2$.

Поэтому $a = Au_0$.

Нормальное ускорение $a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2}$;

$$a_n = \sqrt{A^2 u_0^2 - \frac{A^4 u_0^2 y^2}{A^2 y^2 + u_0^2}} = Au_0\sqrt{1 - \frac{A^2 y^2}{A^2 y^2 + u_0^2}} = Au_0\sqrt{\frac{A^2 y^2 + u_0^2 - A^2 y^2}{A^2 y^2 + u_0^2}} =$$

$$= \frac{Au_0^2}{\sqrt{A^2 y^2 + u_0^2}} = \frac{Au_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{Ay}{u_0}\right)^2}}$$

4. Задачи об относительном движении нескольких материальных точек.

Решение таких задач выполняется в следующем порядке: а) анализируется характер движений каждой из материальных точек; б) выбирается система отсчета; в) записывается закон движения для каждой точки с учетом начальных условий; г) составляются уравнения, соответствующие заданным специальным условиям задачи.

Вопросы, выносимые на коллоквиум

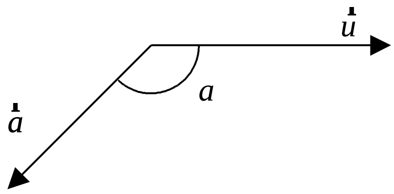
1. Перемещение, скорость и ускорение при криволинейном движении материальной точки.
2. Разложение вектора полного ускорения на нормальное и тангенциальное.
3. Векторы угловой скорости и углового ускорения. Связь между угловыми и линейными величинами.
4. Инерциальные системы отсчета и принципы относительности Галилея и специальной теории относительности.
5. Преобразования Галилея. Инварианты преобразований.
6. Сложение скоростей нерелятивистской механики.
7. Идея «Мирового эфира», постоянство скорости света. Постулативный характер постоянства скорости света.
8. Опыты Майкельсона – Морли. Современная интерпретация их.
9. Однородность и изотропность пространства. Однородность времени. Линейность преобразования координат.
10. Вывод преобразований Лоренца (для y и z ,для x и t).
11. Относительность одновременности и принцип причинности.
12. Инварианты преобразований Лоренца.
13. Сокращение длины и изменение формы движущихся тел.
14. Замедление темпа хода движущихся часов. Собственное время

15. Экспериментальное подтверждение замедления времени.

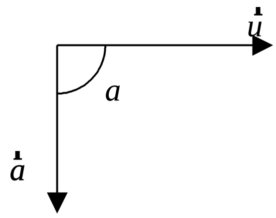
16. Сложение скоростей теории относительности (релятивистской механики).

Вопросы к заданию 1

1. В какой-то из моментов движения материальной точки угол между векторами скорости $\vec{u}$ и ускорения $\vec{a}$ равен a. Каково движение точки в этот момент при различных значениях a (прямолинейное или криволинейное, ускоренное, равномерное или замедленное)?

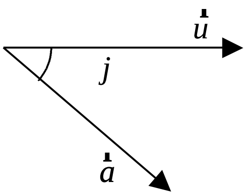


а)

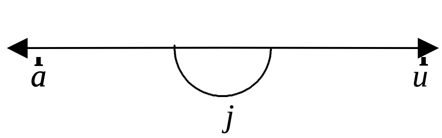


б)

2.

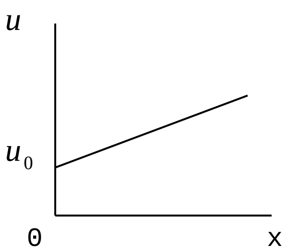


в)



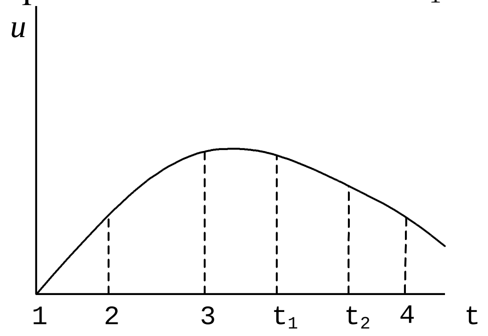
г)

3. Скорость точки, движущейся прямолинейно, растет по линейному закону $u = u_0 + kx$. Как при этом изменяется ускорение: растет, убывает или остается постоянным?

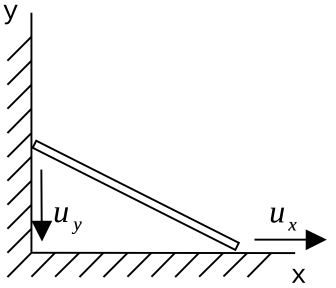


4. При прямолинейном движении материальной точки ее скорость изменяется с течением времени так, как показано на рисунке. В какой из пронумерованных на рисунке моментов времени ускорение точки имеет максимальное значение? Как на основании графика

определить среднюю скорость движения за промежуток времени, ограниченный моментами t_1 и t_2?.



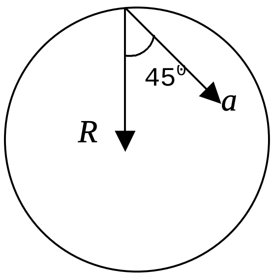
5. Стержень длиной l упирается верхним концом в стену, а нижним в пол. Конец, упирающийся в стену, равномерно опускается вниз. Будет ли движение другого конца равномерным?



Ответ:

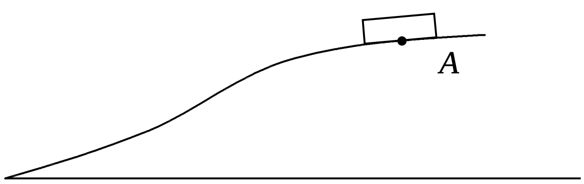
$$u_x = \frac{y|u_y|}{\sqrt{l^2 - y^2}}$$

6.Точка движется по окружности с постоянным тангенциальным ускорением. Через некоторый промежуток времени t после начала движения угол между полным ускорением $\vec{a}$ и направлением, совпадающим с радиусом окружности R, становится равным 45^0. Чему равно угловое ускорение e ?



Ответ: $e = \frac{1}{t^2}$

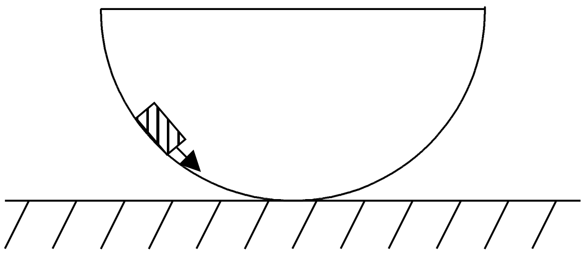
7. У подножия горы санкам сообщена некоторая скорость, в результате чего санки въезжают на гору и, достигнув точки А, начинают скользить обратно. Как направлены нормальное и тангенциальное ускорения в точке А?



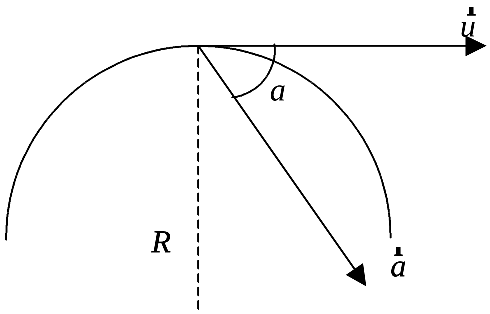
8. Тело брошено под углом a к горизонту ($0^0 < a < 90^0$) со скоростью u_0. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, как в процессе подъема изменяются нормальное a_n и тангенциальное a_t ускорения?

9. Радиус – вектор точки зависит от времени t по закону $\vec{r} = \vec{A}t + \vec{B}t^2/2$, где А и В – постоянные векторы. Найти скорость $\vec{u}$ и ускорение $\vec{a}$ точки, модуль вектора скорости и ускорения.

10. Тело скользит без трения по вогнутой поверхности. Как в наинизшей точке направлены нормальное и тангенциальное ускорения?



11. Точка А движется по дуге окружности радиусом R. Ее скорость зависит от дуговой координаты l по закону $u = A\sqrt{l}$, где А – постоянная. Найти угол a между векторами полного ускорения и скорости точки, как функцию координаты l.



Ответ: $tga = \frac{2l}{R}$

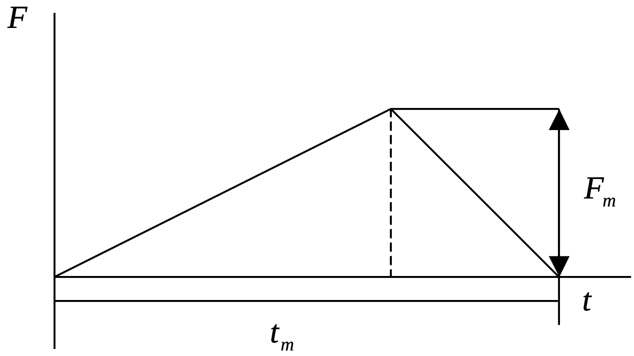
Задание 2. Динамика материальной точки. Законы сохранения. Столкновения. Динамика тел переменной массы. Движение в поле тяготения. Динамика твердого тела.

1. Ответить на вопросы к заданию 2.
2. Выполнить индивидуальное задание 2.

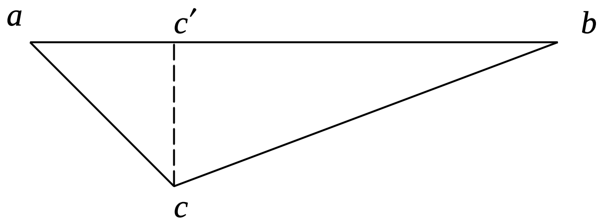
Вопросы к заданию 2

12. Сила, действующая на материальную точку массой m, вначале возрастает до максимального значения F_m, а затем уменьшается до нуля. Изменение силы с течением времени

происходит по линейному закону. Полное время движения t_m. Какую скорость приобретет тело к концу времени действия силы? Начальная скорость равна нулю.

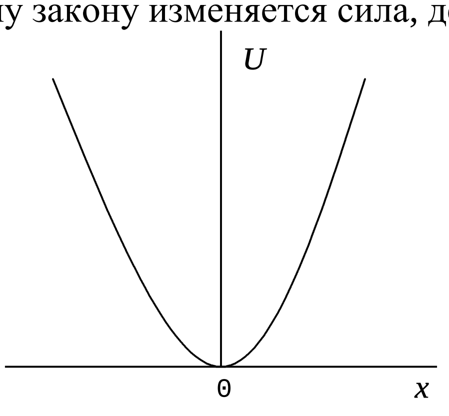


13. По какой из двух траекторий - горизонтальной $ac'b$ или состоящей из двух наклонных участков ac и cb - потребуется совершить большую работу при перемещении тела, если коэффициент трения на всех участках одинаков?



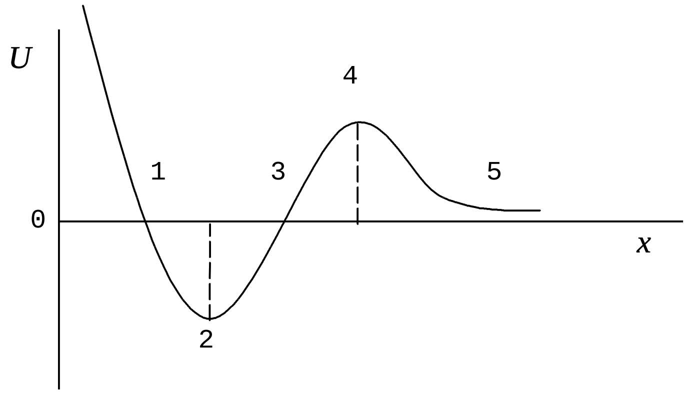
14. Тело массой m соскальзывает с горы произвольного профиля и, проехав затем некоторое расстояние по горизонтали, останавливается вследствие трения. Коэффициент трения на различных участках пути может быть различным, но он не зависит ни от скорости, ни от направления движения. Определить работу, которую следует совершить, чтобы вернуть тело в первоначальное положение по тому же пути?

15. Зависимость потенциальной энергии тела от его положения изображается параболой, удовлетворяющей уравнению $U = Ax^2$. По какому закону изменяется сила, действующая на тело?



16. Зависимость потенциальной энергии U взаимодействия двух частиц от расстояния r между ними показана на рисунке. Каким расстояниям между частицами соответствует равновесие? При каком

расстоянии это равновесие устойчиво и при каком – неустойчиво? Каким участкам кривых соответствуют силы притяжения и каким – отталкивания?



17. На нити подвешен груз массой m_2. Пуля, летящая горизонтально, попадает в груз. При этом возможны 3 случая: пуля, пробив груз и сохранив часть скорости, летит дальше; пуля застревает в грузе и пуля после удара отскакивает от груза. В каком из этих случаев груз отклонится на наибольший угол и в каком на наименьший?

18. Два шара одинаковой массы сталкиваются, причем удар абсолютно упругий, но не центральный. Доказать, что в этом случае угол между направлениями скоростей шаров после удара равен 90^0?

19. Шар массой m_1 со скоростью u_1 налетает на неподвижный шар, масса которого m_2. Удар центральный, абсолютно упругий. Скорости шаров после удара соответственно равны u_1' и u_2'. Каким соотношениям масс соответствуют следующие значения скорости: $u_1' = 0$; $u_1' < 0$; $u_1' > 0$?

20. С двух наклонных плоскостей, одинаковых по высоте и по длине, скатываются диск и шар. Какое из этих тел быстрее достигнет нижней точки плоскостей? Как будет зависеть полученный результат от масс и диаметров диска и шара?

21. Несколько спутников одинаковой массы движутся вокруг Земли по круговым орбитам разных радиусов. Как зависят от радиуса орбиты кинетическая, потенциальная и полная энергии спутников и их моменты импульса?

Задание 1

Тема	Номера задач по задачнику
1. Кинематика	18, 19, 20, 23, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 41, 42, 47, 50, 51, 57.
2. Релятивистская механика	396, 397, 401, 402, 404, 407, 411, 412, 417, 419.
3. Основное уравнение динамики	59, 62, 65, 68, 72, 73, 88, 91, 104,

	105.
4. Законы сохранения. Реактивное движение. Закон всемирного тяготения	134, 135, 137, 143, 148, 149, 151, 166, 169, 194, 198, 248, 250, 256, 257.
5. Динамика твёрдого тела	272, 285, 286, 293, 295, 300, 308, 309, 315, 330.

Список литературы

1. Иродов И.Е. Задачи по физике.-3-е издание, 1997.