

Посмотри и объясни

Условие

Задание 11-1. Разминка

1. **«Посмотри и объясни»** На Рис. 1 изображен популярный физический опыт. Вырезанное из пластиковой бутылки кольцо поставили на широкое горлышко пустой бутылки. На вершину кольца положили небольшую монету (или гайку) (см. Рис. 1). Резким горизонтальным ударом линейки выбьем пластиковое кольцо из-под монеты: первый раз – как в случае а), а второй раз – как в случае б). Одинаковы ли будут результаты опыта в обоих случаях? Если нет, то что, по вашему мнению, произойдет с монетой далее в каждом из случаев? Проанализируйте Рис. 1, в Листе ответов кратко опишите ваши выводы и обоснуйте их с физической точки зрения. 2. **«Перемещение и путь и частицы»** Частица (Рис. 2) движется прямолинейно и равноускоренно (равнопеременно). Известно, что за некоторый промежуток времени t_1 путь l , пройденный частицей, и модуль её перемещения $S = |\vec{S}|$ отличаются в $\eta_1 = 3,00$ раза. Известно также, что скорость частицы в момент времени t_1 меньше по модулю скорости в начальный момент времени ($t = 0$). Во сколько раз η_2 отличаются путь, пройденный частицей, и модуль её перемещения за промежуток времени $2t_1$? 3. **«Зеркальный шар»** Световой луч AB (Рис. 3) от неподвижного лазера L ориентирован «горизонтально». Зеркальный шар радиусом $R = 12$ см движется перпендикулярно световому лучу AB («сверху вниз») со скоростью $v = 1,5$ м/с. При движении зеркального шара отраженный луч поворачивается относительно «неподвижного» падающего луча. Чему равна угловая скорость ω вращения отраженного луча в момент, когда падающий световой луч AB находится на расстоянии $h = 6,4$ см (см. Рис. 3) от диаметра CD зеркального шара параллельно ему?

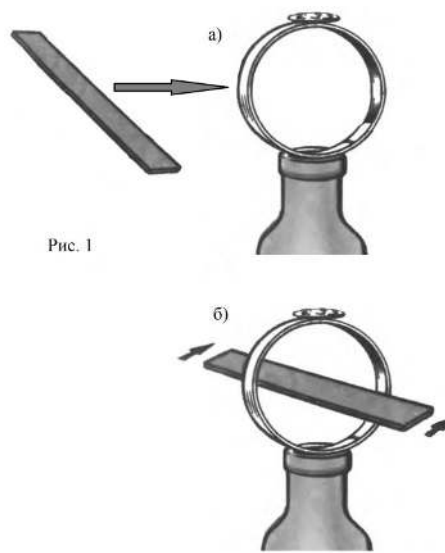


Рис. 1

Решение

Задание 11-1. «Разминка»

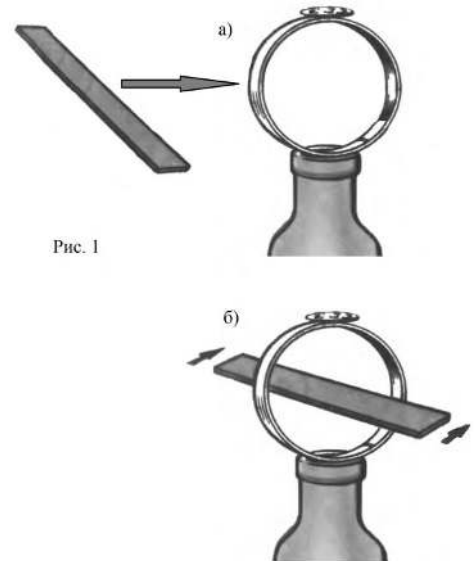


Рис. 1

1. «Посмотри и объясни» На Рис. 1 изображен популярный физический опыт. Вырезанное из пластиковой бутылки кольцо поставили на широкое горлышко пустой бутылки. На вершину кольца положили небольшую монету (или гайку) (см. Рис. 1). Резким горизонтальным ударом линейки выбьем пластиковое кольцо из-под монеты первый раз – как в случае а), а второй раз – как в случае б). Одинаковы ли будут результаты опыта в обоих случаях? Если нет, то что, по вашему мнению, произойдет с монетой далее в каждом из случаев? Проанализируйте Рис. 1, в Листе ответов кратко опишите ваши выводы и обоснуйте их с физической точки зрения.

2. «Перемещение и путь и частицы» Частица (Рис. 2)

движется прямолинейно и равноускоренно (равнопеременно).

Известно, что за некоторый промежуток времени t_1 путь l , пройденный частицей, и модуль её перемещения $S = |\vec{S}|$ отличаются в $\eta_1 = 3,00$ раза.

Известно также, что скорость частицы в момент времени t_1 меньше по модулю скорости в начальный момент времени ($t = 0$). Во сколько раз η_2 отличаются путь, пройденный частицей, и модуль её перемещения за промежуток времени $2t_1$?



Рис. 2

3. «Зеркальный шар» Световой луч AB (Рис. 3) от

неподвижного лазера $\mathcal{L}$ ориентирован «горизонтально».

Зеркальный шар радиусом $R = 12$ см движется перпендикулярно световому лучу AB («сверху вниз») со скоростью

$v = 1,5$ м/с. При движении зеркального шара отраженный

луч поворачивается относительно «неподвижного» падающего луча. Чему равна угловая скорость ω вращения отраженного луча в момент, когда падающий световой луч

AB находится на расстоянии $h = 6,4$ см (см. Рис. 3) от диаметра CD зеркального шара

параллельно ему?

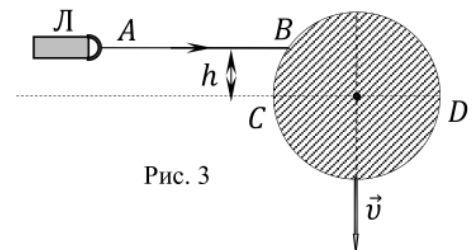
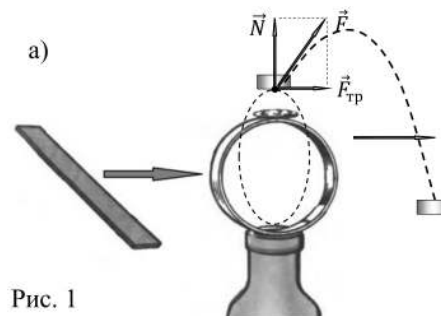


Рис. 3

Возможные решения:

Задание 11-1. «Разминка»

1. «Посмотри и объясни» На Рис. 1 (а),б)) изображены две модификации известного эффектного опыта по механике, демонстрирующего особенности деформаций тела при различных способах механического воздействия.

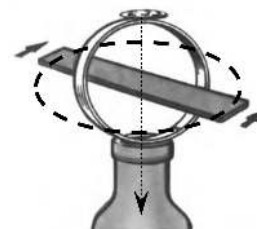


Точка приложения силы удара линейки существенно влияет на вид деформации: в случае а) это будет сжатие по горизонтали (выпуклость по вертикали), а в случае б) – растяжение по горизонтали (сжатие по вертикали).

Соответственно, монета в случае а) никак не попадет в бутылку, а полетит по параболе «вверх и вперед», тогда как в случае б) при аккуратном ударе она окажется в бутылке.

Случай а) подробно рассмотрен в задании 9-1, а случай б) – в задании 10-1.

2. «Путь и перемещение частицы» Поскольку при произвольном движении частицы её путь l всегда больше (либо равен) модулю перемещения $S = |\vec{S}|$, то из условия следует, что к моменту времени t_1 путь частицы в три раза больше модуля её перемещения



$$l = 3|\vec{S}| = 3S_0, \quad (1)$$

где S_0 – модуль перемещения частицы к моменту времени t_1 .

В условии задачи не сказано, как «направлено» ускорение a движущейся частицы: «по» её начальной скорости v_0 или «против».

Предположим, что «по», т.е. проекция ускорения на ось начальной скорости положительна ($a > 0$).

Тогда частица будет ускоряться и двигаться прямолинейно все время в одном направлении. Однако, в таком случае модуль перемещения S частицы всегда будет равен пути l , пройденному ею, т.е. их отношение будет равно единице

$$l = S, \quad (2)$$

что противоречит данным условия.

Следовательно, для выполнения (1) вектор ускорения $\vec{a}$ частицы должен быть направлен против вектора $\vec{v}_0$ её начальной скорости. В таком случае траектория $ABCD$ частицы будет иметь примерный вид как на Рис. 2.

Таким образом, на промежутке времени t_1 частица сначала движется в одну сторону (ABC), а после остановки – в обратную (CD).

Меньшая величина скорости в момент времени t_1 означает, что частица не успевает вернуться в начальную точку A (см. Рис. 2).

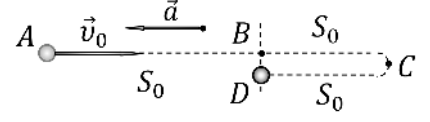


Рис. 2

Из Рис. 2 следует, что $AD = S_0$, следовательно, $BC + CD = 3S_0 - AD = 2S_0$. Поскольку эти отрезки равны, то находим

$$BC = CD = S_0, \quad (3)$$

где S_0 есть её удаление частицы от начальной точки в момент времени t_1 .

Обозначим время движения от начальной точки до точки остановки C через t_0 , тогда по кинематическому закону равноускоренного (равнопеременного) движения имеем

$$\frac{at_0^2}{2} = 2S_0, \quad (4)$$

$$\frac{a(t_1 - t_0)^2}{2} = S_0. \quad (5)$$

Решая систему (4) – (5), находим

$$t_1 = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) t_0. \quad (6)$$

Поскольку с момента t_0 и до момента времени $2t_1$ частица движется в одном направлении, то за время $(2t_1 - t_0)$ проходит путь l_1 , равный

$$l_1 = \frac{a(2t_1 - t_0)^2}{2} = 2S_0(\sqrt{2} + 1)^2 = 2S_0(3 + 2\sqrt{2}). \quad (7)$$

Тогда полный путь частицы за время $2t_1$ равен

$$l_2 = 2S_0 + l_1 = 4S_0(2 + \sqrt{2}), \quad (8)$$

а модуль перемещения за это время равен

$$S_2 = l_1 - 2S_0 = 4S_0(1 + \sqrt{2}). \quad (9)$$

Таким образом, искомое отношение этих двух величин через промежуток времени $2t_1$ равно

$$\eta_2 = \frac{l_2}{S_2} = \frac{4S_0(2 + \sqrt{2})}{4S_0(1 + \sqrt{2})} = \sqrt{2} = 1,41. \quad (10)$$

3. «Зеркальный шар» Согласно принципу относительности Галилея (Эйнштейна), все инерциальные системы отсчета (ИСО) тождественны в том смысле, что решать физическую задачу (даже по оптике!) можно в любой из них.

В данном случае удобно перейти в инерциальную систему отсчета, связанную с движущимся шаром. В ней шар будет «покоится», а лазер (и луч AB) – двигаться «снизу вверх» с постоянной скоростью v .

Рассмотрим световой луч, идущий на расстоянии h от диаметра CD (Рис. 3).

За малый промежуток времени Δt луч удалится от диаметра на малое расстояние Δh , равное

$$\Delta h = v \Delta t. \quad (1)$$

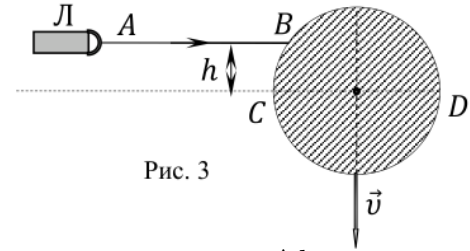


Рис. 3

При этом точка падения пройдет по зеркальному шару малое расстояние Δl по дуге, которую приблизительно можно считать хордой. Тогда из соответствующего прямоугольного треугольника получим (на Рис. 3 не показан)

$$\Delta l = \frac{\Delta h}{\cos \alpha} = \frac{v \Delta t}{\cos \alpha}, \quad (2)$$

где α – угол падения светового луча на зеркальный шар.

Малое увеличение $\Delta \alpha$ угла падения светового луча составит

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta l}{R} = \frac{v \Delta t}{R \cos \alpha}, \quad (3)$$

где R – радиус шара.

При увеличении угла падения увеличивается и угол отражения, поэтому полный поворот $\Delta \varphi$ отраженного луча будет в два раза больше

$$\Delta \varphi = 2 \Delta \alpha = \frac{2v \Delta t}{R \cos \alpha}. \quad (4)$$

Угловая скорость вращения отраженного луча в этот момент

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2v \Delta t}{R \cos \alpha \Delta t} = \frac{2v}{R \cos \alpha}. \quad (5)$$

Учитывая, что

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{R^2 - h^2}}{R}, \quad (6)$$

получаем окончательный результат

$$\omega = \frac{2v}{R} \frac{R}{\sqrt{R^2 - h^2}} = \frac{2v}{\sqrt{R^2 - h^2}}. \quad (7)$$

Расчет дает

$$\omega = \frac{2 \cdot 1,5}{\sqrt{0,12^2 - 0,064^2}} \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) = \{29,55414023\} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (8)$$

В соответствии с правилами округления (см. данные условия) окончательный ответ приводим с точностью до двух значащих цифр.

Заметим, что при $h = 0$ формула (7) переходит в формулу (4) для задачи 10 класса, поскольку это есть частный случай данной задачи (при угле падения $\alpha = 0$) :).

$$\omega = \frac{2v}{R}.$$

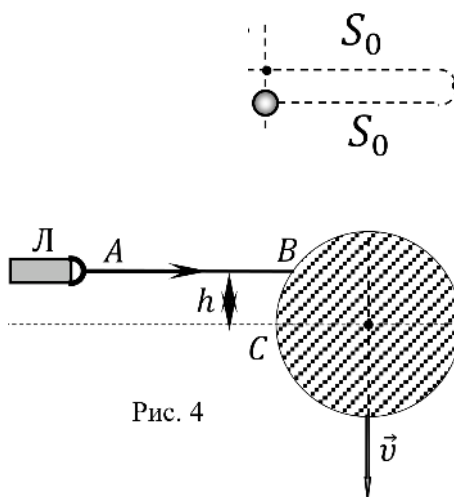


Рис. 4

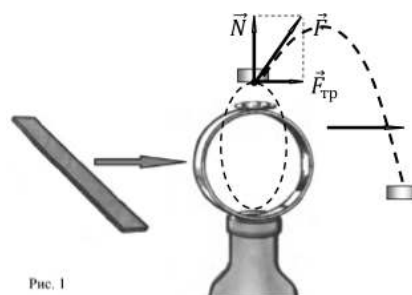


Рис. 1

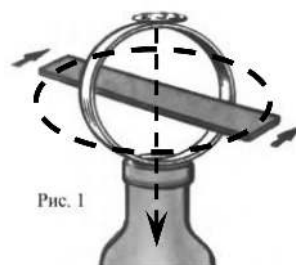


Рис. 1