



## **Белов Филипп Анатольевич**

*Кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики и методико-информационных технологий ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», учитель физики и астрономии МОУ «Лицей прикладных наук им. Д.И. Трубецкого», член жюри муниципального и регионального этапа олимпиады по физике и астрономии, г. Саратов*

## **Косоугольная система координат в задачах кинематики**

В работе представлен сравнительный анализ различных вариантов выбора традиционной ортогональной системы координат и косоугольной системы координат при решении задач кинематики. Рассматриваются особенности использования малоизвестной косоугольной системы координат, её возможности и польза для повышения рациональности алгебраической части решений. Предлагаются примеры решения задач и вопросы для самостоятельного рассмотрения читателем. Статья может быть интересна старшеклассникам, интересующимся профильным курсом физики, и учителям физики, которые занимаются подготовкой участников олимпиад различного уровня.

### **1. Введение**

Необходимость рационального выбора системы координат встречается нам при изучении кинематики и динамики в различных ситуациях. Чаще всего логика этого выбора обсуждается при решении динамических задач, например о движении тела по наклонной плоскости. Традиционные критерии выбора осей заключаются, как известно, в том, чтобы направить одну из них по ускорению, либо обеспечить

минимальное количество действующих сил, определяемых сложными проекциями. При этом во всех случаях выбирается стандартная прямоугольная декартова система координат.

В задачах кинематики вопрос такого выбора в большинстве случаев не поднимается, так как все используемые сегодня учебники тяготеют к традиционному выбору направлений прямоугольной сис-

темы координат (по горизонтали и по вертикали). В редких случаях движения тела, брошенного с наклонной плоскости, возникает повод направить одну из осей системы координат по плоскости, то есть под углом к горизонту. В таком случае проекции ускорения свободного падения оказываются ненулевыми на обе оси, зато некоторые параметры движения определяются легче – например, смещение по плоскости.

Старшеклассникам редко знакомы иные варианты систем координат кроме прямоугольной декартовой. Если полярная система координат иногда используется в ходе описания криволинейного движения, а сферическая система изучается на уроках астрономии, то поводов обращения к косоугольной системе координат, которая так же относится к категории декартовых, часто вообще не возникает. В то же время успех как при подготовке к экзаменам, так и при освоении олимпиадного уровня физики возможен только при условии, что в

арсенале школьника есть некоторый спектр взаимодополняющих методов решения задач, из которых он может выбирать наиболее рациональный подход. Имеющийся опыт подсказывает, что демонстрация нестандартных вариантов выбора систем координат существенно расширяет навыки решения задач механики и формирует критический взгляд на различные подходы. Обращение к векторному способу дополняет и усиливает эти представления, так как во многих случаях косоугольная система координат оказывается наиболее естественным переложением векторных уравнений перемещения и скорости на уравнения в проекциях. Не имея, однако, цели охватить в этой статье все возможные методы и подходы и обходя стороной векторный метод, который достаточно широко описан в разнообразных публикациях (см., например, [1] и [2]), остановимся на вариантах применения наименее распространенной в школьной физике косоугольной системы координат.

## 2. Косоугольная система координат

Её использование оказывается крайне непривычным, так как на уроках математики с косоугольной системой координат школьники обычно не встречаются совсем. В связи с этим прежде, чем рассматривать варианты решения задач в такой системе, необходимо сделать некоторые предварительные пояснения. Косоугольная декартова система координат представляет собой две числовые оси, пересекающиеся под некоторым углом  $\alpha$  друг к другу, которые для каждой точки на

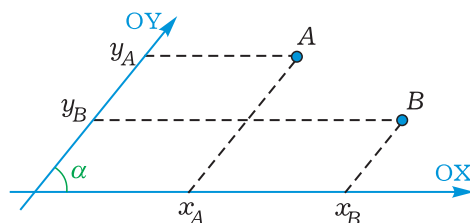


Рис. 1

плоскости однозначно задают пару координат (рис. 1). Мы ограничимся рассмотрением двухмерных систем,

хотя всё то же самое будет справедливо и для трёхмерных построений. Чтобы найти координаты точки в такой системе следует через ее положение провести линии, параллельные осям координат, и определить расстояние от начала координат до точки пересечения с осью. Очевидно, что ортогональные координаты можно рассматривать как частный случай косоугольных при  $\alpha = 90^\circ$ .

$$AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 - 2(x_B - x_A)(y_B - y_A)\cos\alpha}.$$

Для нахождения проекций (координат) любого вектора в косоугольной системе координат достаточно через его начало и конец провести прямые, параллельные осям координат. Расстояния между точками пересечения этих прямых на каждой оси и есть проекция. Известно, что технология поиска проекций даже в ортогональной системе координат вызывает порой сложности. Для снижения трудности освоения этого навыка можно воспользоваться простой физической интерпретацией. Если представить себе, что любой вектор есть непрозрачная преграда, которая освещается пучком параллельного осям координат света, то его тени на соответствующих осях и будут проекциями. Такая модель и в нашем случае работает. Единственное отличие в том, что пучок параллельных лучей света должен теперь падать под углом к оси координат, но по-прежнему параллельно второй оси.

Например, на рисунке 2 вектор  $e$  имеет две отрицательные проекции, величина которых соответственно определяется расстояниями между

Разложение любого вектора в такой системе происходит по направлениям, которые не перпендикулярны друг другу, но на основании тех же правил сложения векторов, что и обычно. Теорема Пифагора, используемая для оценки расстояния между двумя точками или длины вектора через его проекции, является просто частным случаем теоремы косинусов в косоугольной системе координат:

основаниями проведенных пунктиров; у вектора  $a$  проекция на ось  $OX$  будет равна нулю, а на ось  $OY$  численно равна длине вектора; вектор  $d$  наоборот будет иметь нулевую проекцию на ось  $OY$ , так как параллелен  $OX$ ; у вектора  $b$  проекция на ось  $OX$  окажется отрицательной и равной по длине самому вектору, а на  $OY$  будет равна нулю.

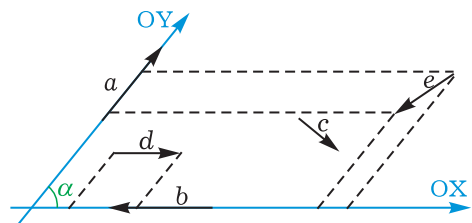


Рис. 2

Для отработки навыков проецирования векторов на различные оси полезно предложить задание: найти ортогональные проекции заданных скорости  $V_0$  ускорения  $g$  и записать уравнения движения тела на разнообразных осях (например, для тела брошенного вверх по наклонной

плоскости, см. рис. 3, на котором соседние оси расположены под углом  $30^\circ$  друг к другу). Это обеспечивает тренировку соответствующего навыка и выработку привычки смотреть на задачу с различных точек зрения. Попробуйте сделать это и заполнить таблицу проекций векторов.

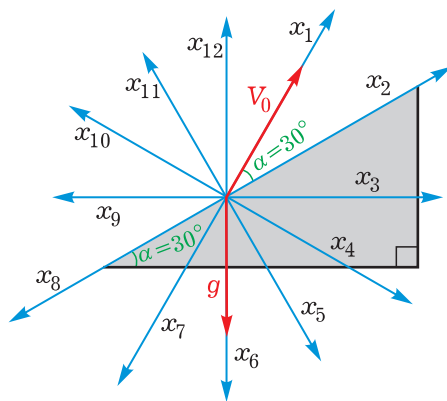


Рис. 3

Ось	Проекция вектора $v_{xi}$	Проекция вектора $g_{xi}$	Уравнения движения тела
$x_1$	$v_{x1} = v$	$g_{x1} = -g \cos 30^\circ$	$v_{x1}(t) = v - g \cos 30^\circ t$ $x_1(t) = vt - g \cos 30^\circ t^2 / 2$
$x_2$	...	...	...
...	...	...	...

Можно отметить, что вариаций задания по представленному рисунку в части отработки косоугольных координат огромное количество. Выше приведено предложение найти ортогональные проекции на соответствующие оси, но формулировка вопроса о том, какими будут косоугольные проекции на любую пару из этих двенадцати осей, даёт возможность потренироваться и в этом навыке. Так как в данном случае многочисленность вариантов слишком увеличила бы объем статьи, оставим их рассмотрение читателю.

Интересно, что работа с косоугольной системой координат может дать все известные соотношения, которые определяют траекторию движения объекта, брошенного под углом к горизонту. Можно получить формулы дальности полета тела,

максимальной высоты его подъема, времени полета и доказать тот факт, что траектория является параболой. В качестве демонстрации сказанного рассмотрим в общем случае движение тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту.

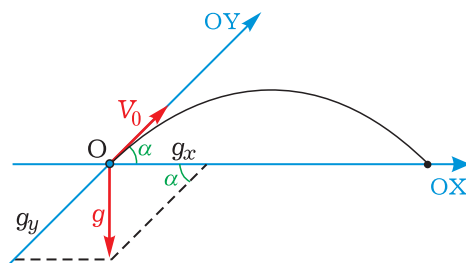


Рис.4

Полная система уравнений движения для этого тела в косоугольной системе координат, выбранной на чертеже, будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \\ v_x(t) = v_{0x} + a_x t \\ v_y(t) = v_{0y} + a_y t \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x(t) = \frac{gctg \alpha t^2}{2} \\ y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2\sin \alpha} \\ v_x(t) = gctg \alpha t \\ v_y = v_0 - \frac{gt}{\sin \alpha} \end{cases}$$

Очевидно, что для расчета, например, времени полета достаточно, как обычно, приравнять  $y(t)$  к 0:

$$0 = v_0 t - \frac{gt^2}{2\sin \alpha} \Rightarrow \begin{cases} t = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \\ t = 0 \end{cases}$$

либо найти то же выражение из четвертого уравнения для скорости, полагая, что момент подъема соответствует половине от времени полета.

Чтобы найти дальность полёта, следует время полёта подставить в уравнение для  $x(t)$ :

$$L = \frac{g \cos \alpha}{2 \sin \alpha} \frac{4V_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Максимальная высота подъема определяется вторым уравнением с соответствующей подстановкой времени подъема. Уравнение траектории можно выявить, исключая время из первых двух уравнений. Все результаты идентичны тому, что мы получаем в традиционной прямоугольной системе координат.

### 3. Примеры решения задач

Рассмотрим для начала пример простой по своему содержанию задачи учебно-тренировочного характера.

*Задача 1. Снаряд, выпущенный под углом  $\alpha$  к горизонту, в течение времени  $t$  находился в полете. Какова дальность полета снаряда?*

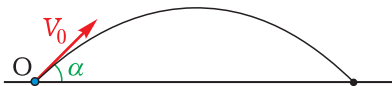


Рис. 5

**I способ.** Решение задачи в стандартных осях координат (ось

абсцисс – по горизонтали, ось ординат – по вертикали) в целом не представляет трудностей.

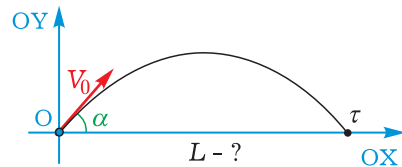


Рис. 6

Запись уравнений в проекциях на ось OX и OY, направленных по горизонтали и по вертикали, даёт хорошо знакомые уравнения движения:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x(t) = v_0 \cos \alpha t \\ y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

которые при совместном решении для момента падения ( $x(\tau) = L$ ;  $y(\tau) = 0$ ) относительно неизвестной начальной скорости и дальности полёта дают результат:  $L = \frac{g\tau^2}{2tg\alpha}$ .

При условии, что технология применения координатного метода в подобных задачах освоена, такой способ решения должен быть понятен и знаком. В то же время на этапе первого погружения в теорию движения тела, брошенного под углом к горизонту, часто возникают сложности, связанные с необходимостью выбора конкретных формул из системы кинематических уравнений, с необходимостью решения для многих непросто получившейся системы с двумя неизвестными и т.п. – то есть трудности математического плана. Полезно оказывается показать иные варианты взгляда на данную ситуацию, которые могут быть в разы проще с точки зрения алгебраической части решения.

**II способ.** Если на этапе выбора осей задуматься над отсутствием в условии начальной скорости, то можно предположить, что выбор одной из осей координат вдоль вектора начальной скорости снизит количество необходимых для решения уравнений с двух до одного.

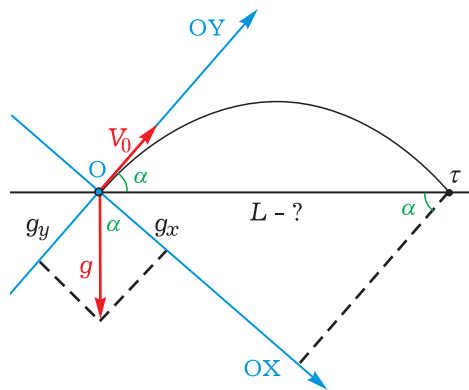


Рис. 7

Действительно, если ось OY направлена по скорости, а ось OX перпендикулярна ей, проекция скорости на ось OX отсутствует, а значит мы можем ограничиться использованием одного уравнения:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Платой за то, что мы исключаем из этого равенства скорость, является необходимость поиска проекции ускорения (см. рис. 7), что впрочем, тоже несложно при условии, что хорошо освоен навык проецирования векторов. Тогда уравнение приобретает вид:  $x(t) = \frac{g \cos \alpha t^2}{2}$ .

В момент падения  $x(\tau) = L \sin \alpha$  (см. рис. 7). Тогда с очевидностью  $L = \frac{g\tau^2}{2tg\alpha}$ .

**III способ.** Наконец, если отсутствие величины начальной скорости заставляет нас выбрать одну из осей по этому вектору, а искомое расстояние  $L$  легко определить, направлением второй оси горизонтально, то целесообразен выбор косоугольной системы координат (рисунк 8).

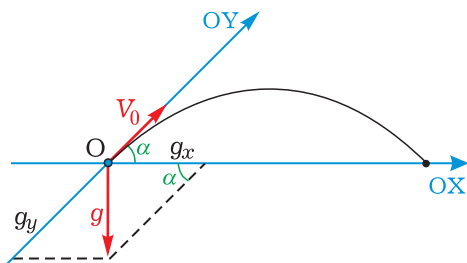


Рис. 8

Исходные уравнения для координат остаются аналогичными, так как они не зависят от выбора осей:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \end{cases}$$

Вот только проекции на ось OX, которая нас и интересует, дают теперь совсем простое уравнение:

$$x(t) = \frac{gt^2}{2\operatorname{tg}\alpha}.$$

так как  $g_x = \frac{g}{\operatorname{tg}\alpha}$ , а  $v_{0x} = 0$  и  $x_0 = 0$  (см. рис. 8). Кроме проекций на ось OX можно определить и проекции векторов на OY:  $g_y = -\frac{g}{\sin\alpha}$ , а  $v_{0y} = v_0$  и  $y_0 = 0$ . В то же время эти проекции уже и не нужны для решения. Достаточно того уравнения  $x(t)$ , что записано выше.

В момент падения, очевидно:

$$x(\tau) = L, \text{ то есть } L = \frac{g\tau^2}{2\operatorname{tg}\alpha}.$$

Оказывается, что при правильной записи уравнения движения в удачно выбранной системе координат алгебраические преобразования могут не понадобиться совсем, не говоря уже о решении системы уравнений с несколькими неизвестными. Красота построения и легкость расчетов удивляют и подсказывают, что во многих задачах о движении тела с постоянным ускорением можно пробовать искать решения в косоугольных координатах.

Следует отметить, что указанную задачу можно решить и векторным путем, построив треугольник перемещений. Из него сразу получается такое же соотношение для  $L$ . Предлагаем читателю сделать это самостоятельно и убедиться в том, что решение в косоугольных координатах оказывается очень близко по своей логике и простоте к векторному подходу. В некотором смысле проецирование векторов на оси косоугольной системы – это просто замена естественному разложению вектора по удобным направлениям. Хотя полностью отождествлять эти два подхода нельзя.

*Задача 2. «Точный удар Криштиану Роналду» (муниципальный этап ВсОШ по физике 2019-2020 гг., г. Саратов). В рамках розыгрыша Лиги Чемпионов 2017-2018 в четверть-финальном матче «Реал» – «Ювентус» Криштиану Роналду забил гол ударом в падении через себя. Будем считать, что в силу природного таланта Роналду нанёс удар таким образом, что скорость*

мяча была направлена в точности под перекладину ворот. Мяч, однако, пересек линию ворот лишь на половине их высоты. Определите, через какое время после удара мяч пересек линию ворот. Сопротивлением воздуха можно пренебречь, мяч можно считать материальной точкой, высота ворот 2,44 м.

Опуская вариант решения в стандартных координатах, который требует более серьезных математических преобразований, чем первая задача, рассмотрим сразу косоугольную систему. Неизвестность величины начальной скорости, точки удара относительно ворот и расстояния до перекладины на первый взгляд делает задачу весьма непростой и, в целом, именно эти факторы усложняют математическую часть традиционного варианта решения. Однако те же причины заставляют нас выбрать одну из осей по вектору скорости. Вторая ось может быть направлена произвольным образом. Пусть она параллельна горизонту, а начало координат принадлежит поверхности земли (см. рис. 9).

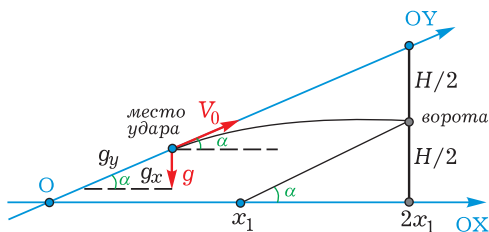


Рис. 9

Очевидно, что уравнение движения в проекциях на ось OX в такой системе координат не содержит ни неизвестной скорости, ни начальной высоты, на которой происходит удар, ни начальной координаты  $x_0$ :

$$x(t) = \frac{gt^2}{2tg\alpha}.$$

В момент пересечения мячом линии ворот на половине высоты  $x(\tau) = x_1$ . А тангенс угла  $\alpha$  определяется из треугольника, катетом которого является половина высоты ворот  $H/2$ . Второй катет этого треугольника, очевидно, так же равен  $x_1$ , что следует из подобия указанного треугольника и треугольника с катетом равным  $H$ . Тогда:

$$x_1 = \frac{g\tau^2}{2\frac{H}{2x_1}}.$$

Откуда:

$$\tau = \sqrt{\frac{H}{g}} \approx 0,5 \text{ с.}$$

Можно заметить, что основное значение в таком решении имеет хорошее знание геометрии и навыки решения планиметрических задач. Проверьте способ решения этой задачи в традиционной системе координат, чтобы увидеть, насколько в данном случае косоугольная система рациональнее.

Десятиклассники, которым предлагался такой вариант решения этой задачи, в качестве альтернативных способов мгновенно находили варианты направления одной из осей по скорости, а второй по перемещению, либо одной из осей – по скорости, а второй по ускорению свободного падения. Удивительно, но и в этих случаях уравнения оказываются совершенно элементарными. Предлагаем читателю убедиться в этом самостоятельно.

Задача 3 (задача № 33 в пособии [3]). С высоты 1,5 метра на наклонную плоскость вертикально падает шарик и абсолютно упруго отражается. На каком расстоянии от места падения он снова ударится о ту же плоскость? Угол наклона плоскости к горизонту  $30^\circ$ .

Авторский вариант решения предлагает традиционный для таких случаев выбор осей прямоугольной системы координат по плоскости и по перпендикуляру к ней (см. рис. 10), что заставляет нас использовать ненулевые проекции ускорения и скорости на обе оси. Такая интерпретация задачи, безусловно, тоже оказывается весьма удобной, если проводить отсчет времени от точки начала движения, так как там скорость отсутствовала.

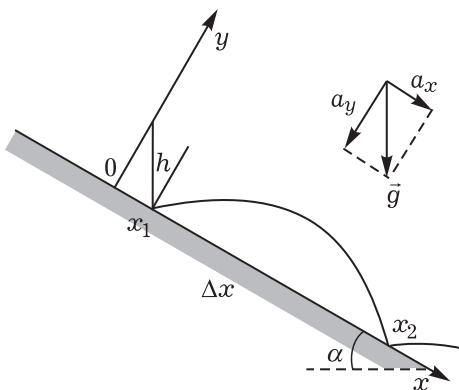


Рис. 10

Однако если выбрать ось OY по направлению скорости после первого удара о плоскость, всё может оказаться еще проще (рис. 11).

Треугольник ускорения и его проекций при таком выборе осей оказывается равносторонним:

$$g_y = -g = -g_x.$$

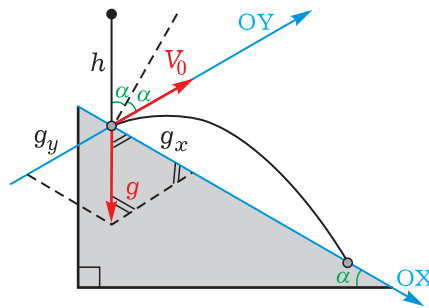


Рис. 11

Ясно, что скорость в момент перед ударом и сразу после:

$$v_{0y} = v_0 = \sqrt{2gh}.$$

Тогда уравнения движения примут вид:

$$\begin{cases} x(t) = \frac{gt^2}{2} \\ y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{gt^2}{2} \\ 0 = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{gt^2}{2} \\ t = \frac{2v_0}{g} \end{cases}$$

$$x = \frac{4gv_0^2}{g^2} = \frac{2v_0^2}{g} = 4h = 6 \text{ м.}$$

Отсутствие в уравнениях тригонометрических функций для многих школьников оказывается очень серьезным стимулом к тому, чтобы использовать именно такой подход. В силу того, что в период первой половины десятого класса на уроках математики учащиеся только еще осваивают тонкости аппарата тригонометрии, уравнения в которых возникают разные функции разных углов, для них часто оказываются пугающими. Более знакомая планиметрия, которая помогает вспомнить от-

дельные свойства некоторых треугольников, часто становится более удобной. Хотя нельзя утверждать что подход, использующий косоугольную систему координат, является всегда и везде более рациональным, тем не менее, можно оставаться на позиции, озвученной в самом начале, – возможность расширения спектра тех навыков решения задач, которые мы обрабатываем, – достаточная причина для того, чтобы такие варианты взглядов на известные задачи показывать и использовать.

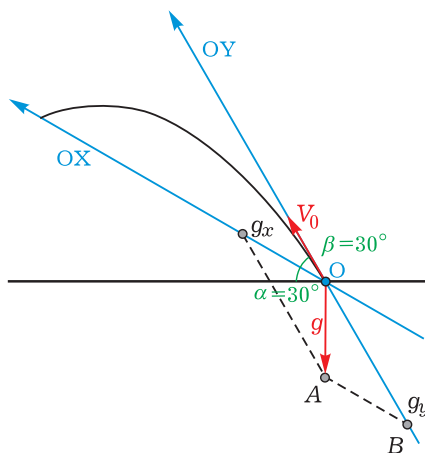


Рис. 12

*Задача 4 (задача № 1.118 в пособии [3]). Из некоторой точки на склоне горы бросают вверх по склону тело с начальной скоростью 21 м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту. На каком расстоянии от точки броска упадет тело, если угол наклона горы  $30^\circ$ ?  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .*

Решение задачи ясно из рисунка 12, на котором выбрана косоугольная система координат.

Из треугольника  $AOB$ , который является равнобедренным, следует, что  $g_x = g$ , а

$$g_y = -\sqrt{2g^2 - 2g^2 \cos 120^\circ} = -g\sqrt{3}.$$

$$\begin{cases} x(t) = \frac{gt^2}{2} \\ y(t) = v_0 t - \frac{g\sqrt{3}t^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{g}{2} \frac{4v_0^2}{g^2} \\ t = \frac{2v_0}{g\sqrt{3}} \end{cases}$$

$$x = \frac{2v_0^2}{3g} = 30 \text{ м.}$$

В завершение предложим читателю описанный метод взять в свой арсенал и иногда пользоваться им, как для проверки традиционного подхода, так и для снижения математической сложности решения кинематических задач.

#### 4. Ответы к заданию по заполнению таблицы (рис. 3):

Ось	Проекция вектора $v_{xi}$	Проекция вектора $g_{xi}$	Уравнения движения тела
$x_1$	$v_{x1} = v$	$g_{x1} = -g \cos 30^\circ$	$v_{x1}(t) = v - g \cos 30^\circ t$ $x_1(t) = vt - g \cos 30^\circ t^2 / 2$
$x_2$	$v_{x2} = v \cos 30^\circ$	$g_{x2} = -g \sin 30^\circ$	$v_{x2}(t) = v \cos 30^\circ - g \sin 30^\circ t$ $x_2(t) = v \cos 30^\circ t - g \sin 30^\circ t^2 / 2$
$x_3$	$v_{x3} = v \cos 60^\circ$	$g_{x3} = 0$	$v_{x3}(t) = v \cos 60^\circ$ $x_3(t) = v \cos 60^\circ t$

$x_4$	$v_{x4} = 0$	$g_{x4} = g \sin 30^\circ$	$v_{x4}(t) = g \sin 30^\circ t$ $x_4(t) = g \sin 30^\circ t^2 / 2$
$x_5$	$v_{x5} = -v \sin 30^\circ$	$g_{x5} = g \cos 30^\circ$	$v_{x5}(t) = -v \sin 30^\circ + g \cos 30^\circ t$ $x_5(t) = -v \sin 30^\circ t + g \cos 30^\circ t^2 / 2$
$x_6$	$v_{x6} = -v \cos 30^\circ$	$g_{x6} = g$	$v_{x6}(t) = -v \cos 30^\circ + gt$ $x_6(t) = -v \cos 30^\circ t + gt^2 / 2$
$x_7$	$v_{x7} = -v$	$g_{x7} = g \cos 30^\circ$	$v_{x7}(t) = -v + g \cos 30^\circ t$ $x_7(t) = -vt + g \cos 30^\circ t^2 / 2$
$x_8$	$v_{x8} = -v \cos 30^\circ$	$g_{x8} = g \sin 30^\circ$	$v_{x8}(t) = -v \cos 30^\circ + g \sin 30^\circ t$ $x_8(t) = -v \cos 30^\circ t + g \sin 30^\circ t^2 / 2$
$x_9$	$v_{x9} = -v \cos 60^\circ$	$g_{x9} = 0$	$v_{x9}(t) = -v \cos 60^\circ$ $x_9(t) = -v \cos 60^\circ t$
$x_{10}$	$v_{x10} = 0$	$g_{x10} = -g \sin 30^\circ$	$v_{x10}(t) = -g \sin 30^\circ t$ $x_{10}(t) = -g \sin 30^\circ t^2 / 2$
$x_{11}$	$v_{x11} = v \sin 30^\circ$	$g_{x11} = -g \cos 30^\circ$	$v_{x11}(t) = v \sin 30^\circ - g \cos 30^\circ t$ $x_{11}(t) = v \sin 30^\circ t - g \cos 30^\circ t^2 / 2$
$x_{12}$	$v_{x12} = v \cos 30^\circ$	$g_{x12} = -g$	$v_{x12}(t) = v \cos 30^\circ - gt$ $x_{12}(t) = v \cos 30^\circ t - gt^2 / 2$

### Список литературы

1. Замятнин М.Ю., Клепиков М.С., Иванович У.А. Геометрические методы решения задач кинематики // Потенциал. – 2021. – № 2.
2. Мартемьянова Т.Ю. Как не быть мазилой // Квант. – 2018. – № 7. – С. 37-41.
3. Черноуцан А.И. Физика. Задачи с ответами и решениями: учебное пособие. – М.: КДУ, 2015. – 352 с.

Новости

Новости

Новости

Новости

## Международная комиссия по оптике присудила медаль Галилео Галилея выпускнику МФТИ Виктору Балыкину

Профессор был номинирован на эту премию Институтом Макса Планка. Его кандидатуру поддержали ведущие ученые в этой области: нобелевский лауреат Билл Филипс, Мишель Леду, Рудольф Грим, Дитер Мешедде и Виктор Задков.

Область научных интересов Виктора Балыкина лежит в изучении фундаментальных процессов взаимодействия лазерного излучения с нейтральными атомами, заряженными частицами и наноструктурами. Его исследования начались с рассмотрения схем циклического взаимодействия атомов с лазерным излучением. Ученый нашел способ эффективно передавать лазерное импульсное излучение в направлении атомов и ионов. Виктор Балыкин и другие ученые впервые в мире продемонстрировали лазерное охлаждение нейтральных атомов.

Источник: <https://mipt.ru/news>