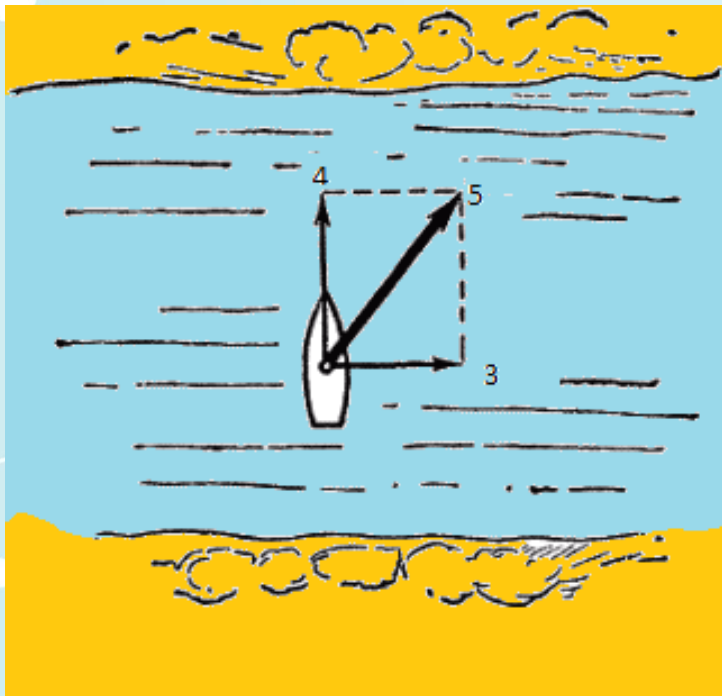


*Step 17. Движение тела, брошенного горизонтально*



*Задача 29. Мальчик бросил горизонтально мяч из окна, находящегося на высоте 20 метров. Сколько времени летел мяч до земли, и с какой скоростью он был брошен, если он упал на расстоянии 6 м от основания дома.*



*Рассуждения и решение. Не по физике, даже, а по алгебре мы решали задачу о лодке, плывущей поперёк реки. Была дана скорость лодки и скорость течения реки. За каждую секунду лодка совершала какое-то перемещение в перпендикулярном течению направлении, и сдвигалась течением вдоль реки. В результате её реальное перемещение происходило по диагонали прямоугольника, у которого одна сторона – перемещение лодки поперечное, а другая стороны – перемещение вдоль реки вместе с текущей водой.*

*В нашей задаче полёт мяча также складывается из двух перемещений. Но здесь картина немного сложнее. Вдоль земной поверхности (горизонтально) мяч совершает прямолинейное равномерное движение. А перпендикулярно земной поверхности (вертикально) мяч падает, то есть совершает прямолинейное равноускоренное движение.*

*Горизонтальный полёт мяча описывается формулой равномерного прямолинейного движения (2)*

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

*Вертикальное падение мяча описывается формулой равноускоренного прямолинейного движения, в котором в качестве ускорения выступает ускорение свободного падения  $g$  (8)*

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

*У внимательного читателя, конечно, возникнет вопрос: а почему, собственно, в горизонтальном направлении мяч движется равномерно, а в вертикальном – равноускоренно? Вопрос хороший, мы на него обстоятельно ответим в разделе «Динамика». А пока примем на веру, что это так. Во всех подобных задачах горизонтальное движение тела будет равномерным, а вертикальное – равноускоренным.*

*Мы получили систему уравнений, из которой можно найти координаты мяча  $x$  и  $y$  в любой момент времени.*

*Что у нас дано?*

*Рассмотрим сначала перемещение вертикальное, вдоль оси  $y$ .*

*Начальная координата  $y_0 = 20$  м. Конечная координата  $y = 0$  (Это следует из того, что мяч упал на землю).*

*Проекция начальной скорости на ось  $y$   $v_{0y} = 0$  (это следует из того, что мальчик бросил мяч горизонтально, а не вверх или вниз).*

*Тогда уравнение вертикального падения мяча будет иметь такой вид*

$$0 = 20 + 0 \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 20 - 5t^2$$

*Из этого уравнения очень легко найти время падения мяча*

$$5t^2 = 20$$

$$t^2 = \frac{20}{5} = 4$$

$$t = \sqrt{4} = 2c$$

*Теперь рассмотрим перемещение горизонтальное, вдоль оси  $x$ .*

*Начальная координата  $x_0 = 0$ . В задаче об этом никак напрямую не говорится. Но говорится, что мяч упал на расстоянии 6 метров от основания дома. В этом случае систему координат разумно расположить таким образом, чтобы начало её было точно совмещено с окном, из которого начинает свой полёт мяч, тогда конечная координата по оси  $x$  будет равна 6.*

*Запишем уравнение горизонтального полёта мяча с учётом исходных данных*

$$6 = 0 + v_{0x}t$$

*Время полёта мяча до земли мы нашли из предыдущего расчёта, оно равно 2 секунды. Легко найдём начальную скорость броска*

$$6 = 0 + v_{0x} \cdot 2$$

$$v_{0x} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м / с}$$

*Ответ: 2с; 3 м/с*



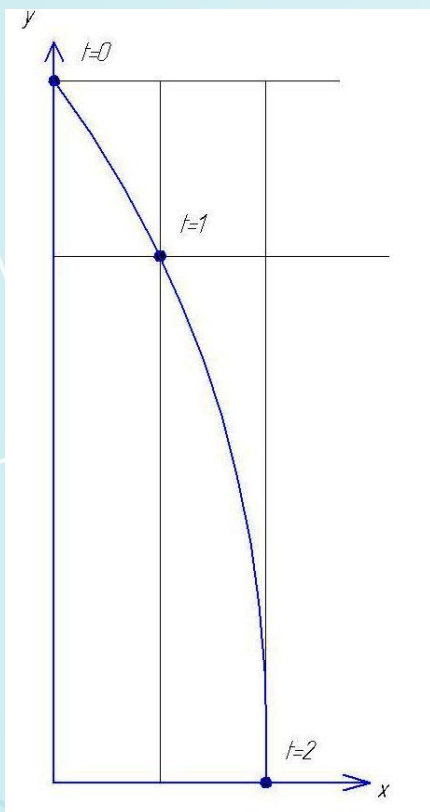
*Задача решена, но давайте всё-таки проанализируем полёт мяча. Дана система уравнений, описывающая его полёт*

$$x = 3t$$

$$y = 20 - 5t^2$$

*Составим таблицу зависимости координат мяча от времени:*

<i><b><math>t</math></b></i>	<i><b>0</b></i>	<i><b>1</b></i>	<i><b>2</b></i>
<i><b><math>x</math></b></i>	<i><b>0</b></i>	<i><b>3</b></i>	<i><b>6</b></i>
<i><b><math>y</math></b></i>	<i><b>20</b></i>	<i><b>15</b></i>	<i><b>0</b></i>

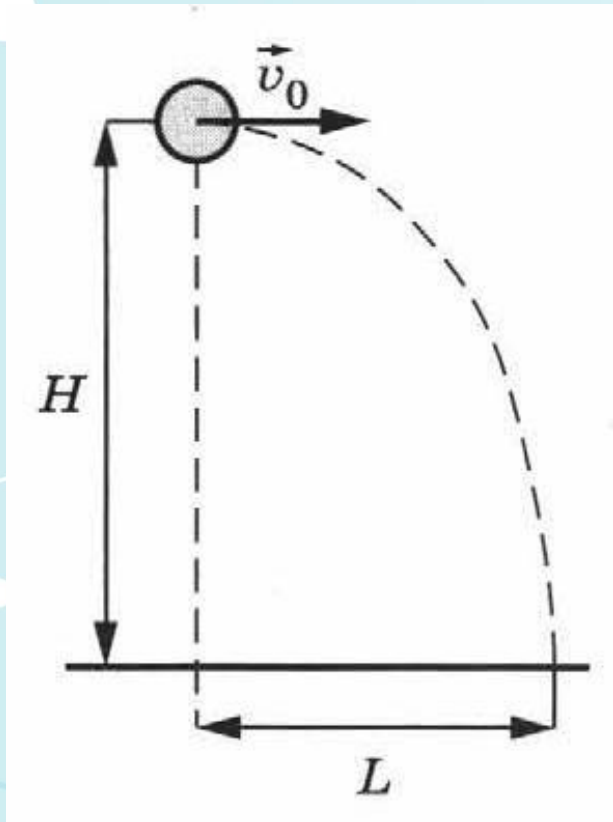


*Вычертим траекторию полёта мяча в координатных осях  $x$ ,  $y$ . Если из первого уравнения системы выразить  $t$  и подставить во второе, то получим  $y = 20 - \frac{5}{9}x^2$ . Это, как мы знаем из алгебры, график квадратичной функции, парабола, ветви которой направлены вниз. То есть, в результате сложения двух движений – горизонтального равномерного и вертикального равноускоренного – падение тела происходит по параболической траектории.*

*В заданиях ЕГЭ часто требуют проанализировать такое движение (тела, брошенного горизонтально) без конкретных числовых значений. Например:*

*Задача 30. Шарик, брошенный горизонтально с высоты  $H$ , с начальной скоростью  $\vec{v}_0$  за время полёта  $t$  пролетел в горизонтальном направлении расстояние  $L$  (смотри рисунок). Что произойдёт с временем полёта и ускорением шарика, если на той же установке при неизменной начальной скорости увеличить высоту  $H$ ? (сопротивлением воздуха пренебречь). Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:*

- 1. Увеличится;*
- 2. Уменьшится;*
- 3. Не изменится.*



*Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.*

<i>Время полёта</i>	<i>Ускорение шарика</i>

*Решение. Мы неоднократно отмечали, что время свободного падения зависит от высоты, с которой тело падает. С вертолѐта груз, конечно же, будет падать дольше, чем с балкона 5 этажа. Отсюда – при увеличении высоты  $H$  время подъѐма увеличится (вариант ответа 1).*

<i>Время полѐта</i>	<i>Ускорение шарика</i>
<i>1</i>	

*Что касается ускорения, то Галилей полтысячи лет тому назад доказал, что тела падают с постоянным ускорением  $g$ , оно не зависит ни от высоты подъёма, ни от скорости броска, оно постоянно и равно  $10 \text{ м/с}^2$ . Выбираем вариант 3 – не изменится.*

<i>Время полёта</i>	<i>Ускорение шарика</i>
<i>1</i>	<i>3</i>

*Ответ 13*

*Примечание. По поводу ускорения свободного падения должен признаться, что оно не так уж и всегда постоянное. Нам рекомендуют в задачах ЕГЭ принимать ускорение свободного падения равным  $10 \text{ м/с}^2$ . Но, если бы взяли специальный прибор и измерили бы  $g$  поточнее – мы получили бы  $9,81 \text{ м/с}^2$ . Это – в средней полосе северного полушария. А на полюсе  $g = 9,78 \text{ м/с}^2$ , а на экваторе  $9,82 \text{ м/с}^2$ . То есть величина ускорения свободного падения зависит от места на планете Земля. На других планетах – оно другое. Строго говоря, ускорение свободного падения зависит и от высоты подъёма над Землёй. Правда, чтобы уловить разницу, надо поднять тело на высоту сотни километров, то есть в космос. Например, на высоте  $100 \text{ км}$   $g = 9,5 \text{ м/с}^2$ . Мы обсудим данные вопросы при рассмотрении закона всемирного тяготения. В задачах типа этой, где специально не оговорены ни космическая высота, ни полюс с экватором – считай  $g$  всегда постоянным и равным  $10 \text{ м/с}^2$ .*

*Разновидности задачи 30, которые я встречал в тренировочных сборниках ЕГЭ.*

*1) Уменьшили высоту  $H$ . Что будет с временем полёта и дальностью полёта?*

*2) Увеличили начальную скорость в два раза. Что будет с временем и дальностью полёта?*

*3) Масса шарика увеличена в два раза, а начальная скорость броска уменьшена в два раза. Что будет с дальностью полёта и ускорением шарика?*

*Легко ответим.*

*1) При уменьшении высоты время полета уменьшится. Дальность полёта при неизменной начальной скорости зависит от времени полёта. Поэтому и дальность полёта уменьшится. Ответ 22.*



2) *Начальная скорость направлена горизонтально. Она влияет не на скорость падения, а только на дальность полёта. Поэтому время падения-полёта никак не изменится, а вот дальность полёта  $L$  увеличится. Ответ 31.*

3) *В этой задаче составители пытаются сбить тебя с толку, включив в условие массу шарика. Уравнения движения – хоть горизонтального, хоть вертикального – не содержат массу. Поэтому на массу мы вообще не обращаем внимания. А вот начальная скорость имеет значение. Если она уменьшена в два раза – то уменьшится дальность полёта. Ускорение останется неизменным, это мы уже обсудили. Ответ 23.*