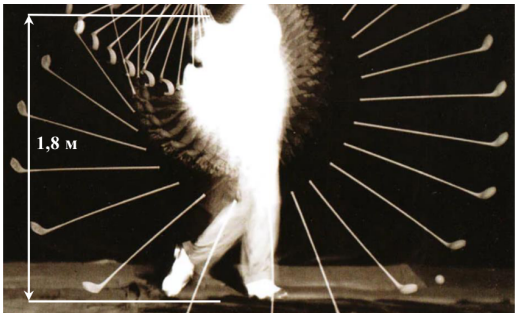
Хронофотография гольфиста

Задача 6. [МОШ 2017/18, 7 класс, задача 6] Хронофотография — это разновидность фотографии, позволяющая фиксировать движение какого-либо объекта при помощи фотосъёмки отдельных фаз движения. При этом кадры делаются последовательно через равные короткие интервалы времени. Перед вами хронофотография гольфиста, совершающего удар по мячу. Промежуток времени между соседними кадрами равен $\tau = 16$ мс. Оцените начальную скорость мяча для гольфа. Мяч движется перпендикулярно направлению вашего взгляда. Высота гольфиста равна 1,8 м.



▲ **Решение. Что происходит.** На одном снимке записано много кадров: клюшка в разных положениях и мяч в разных положениях. Кадры сделаны через равные промежутки τ, поэтому расстояние между двумя соседними изображениями мяча — это путь, который мяч прошёл за τ. Скорость — путь за время. Единственная трудность — перевести расстояние на снимке в метры: для этого и дан рост гольфиста.

Обозначения. s — расстояние между двумя соседними изображениями мяча в метрах, $\tau = 16$ мс $= 0{,}016$ с, v — скорость мяча, $h = 1{,}8$ м — рост гольфиста.

1. Какие изображения мяча брать. До удара мяч лежит на земле: его изображение в этом месте несёт только положение, но не скорость. Нужны два *соседних* изображения мяча сразу после удара: за время между

ними мяч успел пройти заметное расстояние, а скорость ещё не изменилась (сопротивление воздуха и тяжесть за 16 мс изменяют её на ничтожную величину: $g\tau \approx 0{,}16$ м/с при $v \sim 50$ м/с). Дальние кадры брать нельзя: они показывают уже сниженную скорость, а нужна начальная. Лежащее неподвижно изображение до удара и клюшку брать нельзя по той же причине — они скорости мяча не дают.

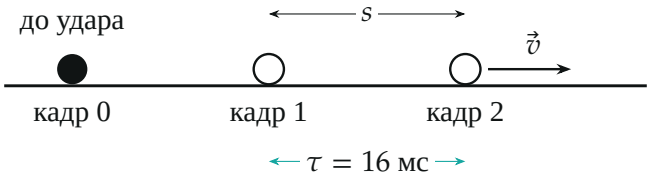


Рис. 1. Кадры мяча на хронофотографии: первое изображение — мяч до удара, затем кадры через равные промежутки τ; расстояние s между кадрами 1 и 2 — путь за τ

2. Масштаб снимка. Мяч летит перпендикулярно лучу зрения, то есть параллельно плоскости снимка, а гольфист стоит рядом, у той же плоскости, поэтому масштаб у мяча и у человека один. Рост $h = 1{,}8$ м на снимке отмечен вертикальной стрелкой. Сравниваем с ней: расстояние между двумя соседними изображениями мяча после удара примерно равно половине этой стрелки. Значит

$$s \approx \frac{h}{2} = 0{,}9 \text{ м}.$$

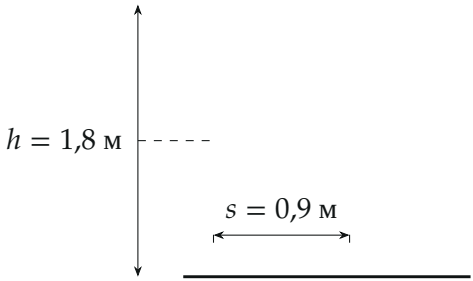


Рис. 2. Перевод в метры: расстояние между изображениями мяча — половина роста гольфиста

3. Скорость. Скорость мяча (она за время между кадрами почти не меняется, поэтому это и есть начальная скорость):

$$v = \frac{s}{\tau} = \frac{0{,}9\text{ м}}{0{,}016\text{ с}} \approx 56\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Проверка. Размерность: м/с. Точность: расстояние s на снимке измеряется с точностью около $\pm 0{,}03$ м, поэтому $v = 56 \pm 2$ м/с. Значение 56 м/с $\approx$ 200 км/ч — обычная скорость мяча при ударе клюшкой для гольфа (порядка десятков м/с), так что ответ правдоподобен. Если взять не соседние кадры, а через один, получим s вдвое больше и τ вдвое больше — та же скорость; это второй способ.

Смысл: хронофотография превращает измерение скорости в измерение длины по снимку — достаточно знать масштаб и τ.

Ответ. Начальная скорость мяча $v = s/\tau \approx 56$ м/с.