

Александр Бердников

## МАШИННАЯ ТОЧНОСТЬ

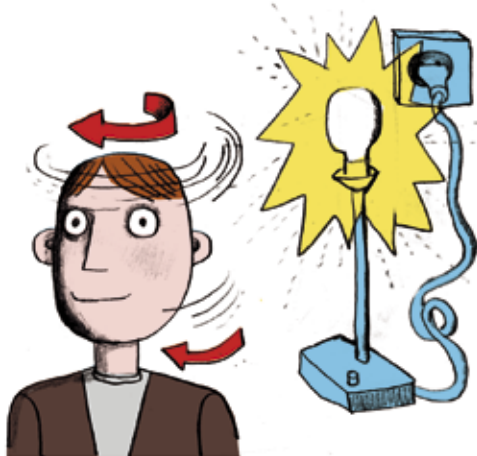


Лампы во многих электронных табло (на дисплеях будильников, в московском метро, в аптечных зелёных крестах) и уличные фонари светят не ровным потоком, а мигают с частотой сотни раз в секунду. Мы, как правило, этого не замечаем, так как время между вспышками слишком мало, и они сливаются для глаза в сплошное свечение. Поэтому, например, нам кажется, что изображения на экране телевизора движутся плавно, хотя и он лишь показывает с большой скоростью серию последовательных картинок.

Однако есть простой приём, с помощью которого можно иногда заметить очень быстрые изменения, например, мигание лампочки с частотой до тысяч раз в секунду. Можете попытаться самостоятельно придумать такой способ. Эта задачка сложная, но решаемая. Пока скажем, что такой метод используется и при настоящих высокоскоростных съёмках. Основанные на нём приборы (стрик-камеры) позволили, в частности, заснять самое быстрое, в некотором смысле, явление: полёт импульсов света. Результаты вы можете посмотреть на сайте <http://web.media.mit.edu/~raskar/trillionfps/>.

Суть нашего трюка проста – нужно дёрнуть головой. Или быстро перевести взгляд. Потом мы скажем, как упростить наблюдение, а пока разберёмся, как работает перевод взгляда. Сначала поймём, как заметить частое мигание. Если бы лампа светила ровно и вы скользнули по ней взглядом, она бы оставила впечатление ровной яркой полосы. Но поскольку лампа в разные моменты то горит, то затухает, след от неё выйдет прерывистый, полосатый. Дальше в статье мы покажем примеры таких полос.

Пусть у нас теперь есть две лампочки, и левая мигает на мгновение позже правой. Такое часто бывает у цифр на электронном табло. Что вы увидите, если быстро переведёте взгляд сверху вниз? Давайте нарисуем «по кадрам» (рис. 1).



# ОПЫТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

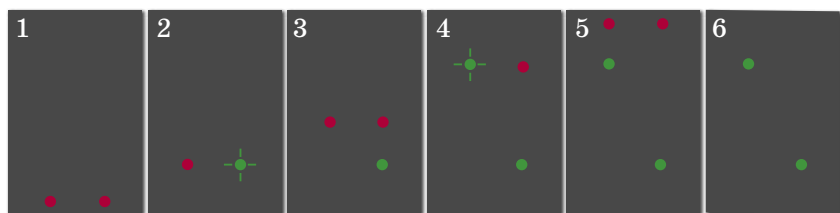


Рис. 1

Пока ваш взгляд идёт вниз, наблюдаемая картинка поднимается (так как в центре поля зрения оказывается то, что было расположено ниже). В определённый момент (кадр 2) мигает правая лампочка. Дальше лампочки едут вверх в поле зрения, но глаз, увидев яркую вспышку, «запомнит» её ненадолго в том низком месте, где она произошла.

Что произойдёт дальше? Мигнёт и левая лампочка, но немного позже, то есть выше в поле зрения (кадр 4). В результате глаз запомнит вспышки не на одном уровне, первая вспышка запомнится чуть ниже (кадр 6). Так можно увидеть, какая лампочка и примерно насколько опережает другую. Если, например, быстро провести взглядом по табло московского метро, вы на мгновение увидите что-то наподобие фото 1. Цифры загораются по очереди, справа налево. Здесь, как и в остальных опытах, важно, чтобы окружающий фон был гораздо темнее табло, иначе фон засветит запомнившиеся глазу циферки.

Точно такой же трюк позволяет заметить переливание цвета некоторых (старых и уже тусклых) люминесцентных ламп. Быстро скользнув взглядом по лампе, вы можете увидеть картинку, отдалённо напоминающую фото 2.



Фото 2

Похоже выглядит и свет некоторых проекторов, которые делают вспышки различными цветами строго по очереди (фото 3).



Фото 1



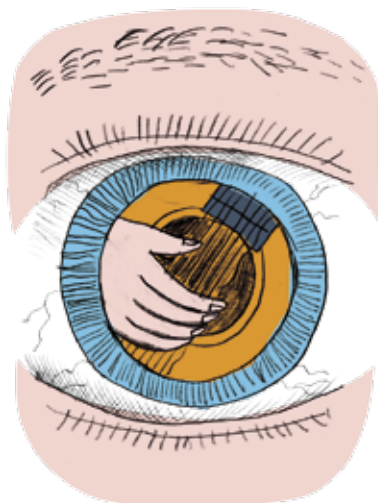


Фото 3

Вот другой опыт. Возьмите гитару и положите так, чтобы металлические порожки на ней были как можно ярче освещены (бликовали). Если теперь дёрнуть одну из струн и пробежать вдоль неё взглядом, вы увидите что-то наподобие фото 4: видны две волнистых тёмных линии. Это графики колебания струны (они будут тем точнее, чем равномернее движется взгляд). Один график вычерчен тенью струны на порожке, а второй – самой струной, загораживающий яркий порожек.



Фото 4. Струны расположены горизонтально, колеблется вторая снизу струна. Фотоаппарат во время съёмки двигался справа налево. Порожки, двигаясь в кадре слева направо, получились светлыми полосатыми прямоугольниками.

Вопросы на усвоение: почему след от порожка такой полосатый? Прочтя статью до конца, попытайтесь ещё понять, как с помощью этой полосатости выяснить частоту колебаний струны.

Как в описанных трюках оценивать временные промежутки? Можно измерить отношение двух таких промежутков времени. Например, на фото 1 мы знаем частоту миганий фонаря слева – это удвоенная частота городской электросети (ток греет лампочку дважды за цикл: идя в одну сторону, а потом идя в другую).



# ОПЫТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Частота в сети – 50 колебаний в секунду, значит, обычные фонари мигают 100 раз в секунду (это полезно помнить для таких прикидок). Между соседними «по-мрачениями» фонаря укладывается примерно два следа первой цифры (это показывают жёлтые чёрточки на фото 5), значит, она мигает вдвое чаще, где-то раз в  $1/200$ с. Теперь можно прикинуть и время между вспышками соседних цифр: первая и последняя загораются почти одновременно. Так что  $1/200$ с (большой зелёный отрезок) нужно поделить на 5–6 равных интервалов (маленькие зелёные), чтобы получить разницу во вспышках соседних цифр, около  $1/1000$ с.

Приведём несколько кадров из скоростной (1000 кадров в секунду) съёмки описанных явлений (фото 6 и 7). Сравните их с фотографиями 1 и 2, сделанными с помощью резкого поворота камеры.



Фото 6

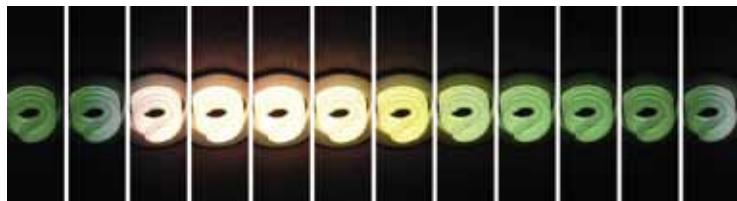


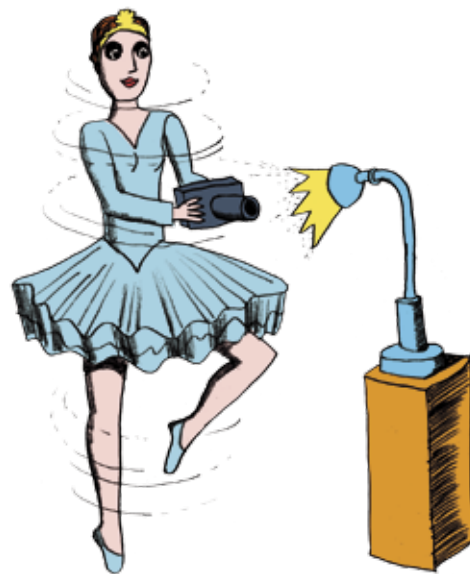
Фото 7

Кстати, на втором и последнем кадрах с лампочкой (фото 7) заметно, как фотоаппарат сам на протяжении одного кадра сделал временную развёртку: левая часть лампы зелёная, правая – светло-голубая. Это произошло из-за того, что все точки изображения сохраняются по очереди. Пока делался кадр, лампа, тлевшая зелёным, начала разгораться, но это уже успело отразиться только на поздней правой половине кадра. Так мы запечатлели ещё более короткие явления. Полные ролики этих скоростных съёмок вы можете посмотреть на нашем сайте <http://kvantik.com/>

Если вам эти опыты понравились, но повторить их не получается (чёткая картинка не ловится), дело может быть в недостатке опыта правильного движения глаз и головы. Мы хорошо следим взглядом за



Фото 5

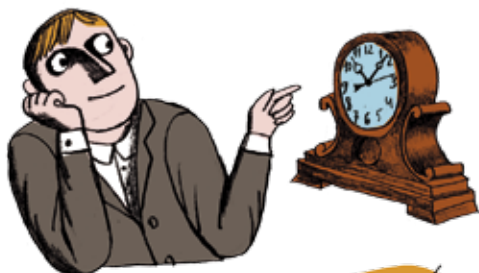




чем-нибудь и хорошо его перебрасываем, переключая внимание между точками. А чтобы водить взглядом вокруг чего-либо, отстранённо следя за изображением в целом, к этому нас, так сказать, эволюция не готовила. Будем обманывать инстинкты: смотрите не прямо на лампы, а на их отражения в небольшом зеркальце. Покачивая его в разные стороны, заставьте отражение лампы быстро бегать по поверхности зеркала. Так рассматривать описываемые им кривые сильно проще.



Поведение внимания при перескоке взгляда вызывает интересную иллюзию. Для начала вопрос: как вы думаете, что вы повернёте быстрее – глаза или всю голову целиком? Кажется невероятным, чтобы стремительный бросок взгляда в другую сторону оставлял какие-то шансы тяжёлой голове. Но на деле голова не только не отстаёт, но даже немного опережает глаза. Они хоть и легче, но и вращаются слабенькими мышцами. Особенно эффектно сравнить кажущуюся быстроту своих глаз со скоростью чужих (или своих же, заснятых на камеру).



Но почему же тогда движения глаз казались нам почти мгновенными, в отличие от поворота головы? В этом и есть иллюзия. Когда мы быстро переводим взгляд с одной цели на другую, мозг часто задним числом подменяет шедшую из глаз при их движении мешанину изображений на конечную картинку. В результате вам кажется, что всё время, пока глаза поворачивались, вы уже смотрели в конечную точку, будто поворот глаз был мгновенным.



Вы могли не раз на скучных уроках замечать проявление этой иллюзии. Если перевести взгляд на часы, показывающие секунды, иногда кажется, что первая их секунда ненормально долгая. Может даже показаться на мгновение, что часы вообще встали. Как вы догадываетесь, это происходит потому, что к первой секунде мозг приписывает ещё и то время, пока вы переводили взгляд.

Под конец оставим задачу как раз по рассказанному материалу. Следя за бегущими строками, вы могли заметить, что на некоторых из них (например, в вагонах московского метро) буквы немножко наклонны, хотя лампочки стоят строго вертикальными рядами. А если надпись останавливается, буквы выравниваются. Как так выходит?