

## НА ВОЛНЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Ранее (в № 2 за 2012 г.) мы уже обсуждали различные технологии просмотра стереоизображений: «невооруженным глазом», через стереоскоп и при помощи анаглифических очков. Однако для реализации современного 3D-телевидения эти способы практически непригодны: для просмотра стереопар «скашиванием глаз» нужен довольно специфический навык (да и глаза устают уже через несколько минут такого просмотра); стереоскопы довольно громоздки, и к тому же при показе стереопары половина площади экрана «теряется» – ведь получаемая стереокартинка равна по размерам одному кадру стереопары – левому или правому; анаглифический метод приводит к существенным нарушениям передачи цвета и, по сути, наилучшим образом работает только для черно-белого изображения. Зрителям же 3D ТВ ну-

жен такой метод просмотра стереопередач, который обеспечивал бы качество изображения не хуже, чем на обычном, «плоском» телевидении, не приводил бы к заметной усталости глаз при достаточно длительном просмотре и не требовал бы (по возможности) каких-то громоздких приспособлений.

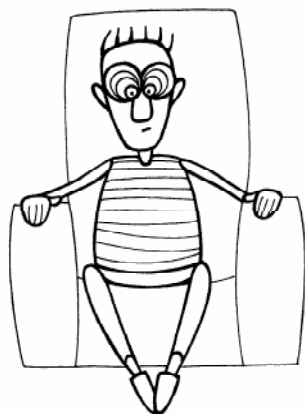
Сегодня для реализации стереоТВ разработан целый ряд технологий воспроизведения 3D: *поляризационная технология*, использование *затворных очков*, а также «*безочковые*» методы, основанные на применении *параллаксного барьера* и *растровых решеток*.

В этой статье мы рассмотрим метод поляризации изображения.

### ЧТО ТАКОЕ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Прежде чем разбираться с принципами реализации 3D при помощи поляризационного метода, давайте повторим школьный курс физики и вспомним, что такое *поляризация* и что такое вообще *свет*.

Создается впечатление, что о том, что такое свет, ученые пока еще сами не вполне договорились. В различных ситуациях свет ведет себя то как поток частиц (фотонов), то как электромагнитная волна. Этот дуализм, правда, может быть разрешим, если предположить, что свет представляет собой не частицу и не непрерывную волну, а своего рода электромагнитные волновые «всплески»: ведь фотоны порождаются атомами вещества при «перескоке» их электронов с одной



*...для просмотра стереопар «скашиванием глаз» нужен довольно специфический навык (да и глаза устают уже через несколько минут такого просмотра)...*

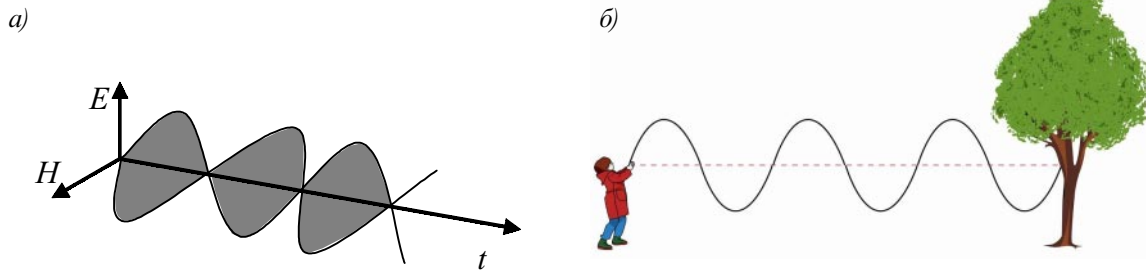


Рис. 1. Свет как электромагнитная волна (а) и его механическая аналогия (б)

орбиты на другую, при этом атом переходит из состояния с более высоким уровнем энергии в состояние с более низким ее уровнем, а «лишняя» энергия излучается в пространство как свет. Тогда логично предположить, что порождаться будет некий бегущий в пространстве электромагнитный импульс.

Поток таких «энергетических всплесков» действительно может вести себя и как частица (ведь «порция» энергии в каждый момент времени локализована в пространстве), и как волна (например, отдельные такие «кусочки волны» могут интерферировать друг с другом).

Впрочем, нам в данном случае важны именно волновые свойства света. В «традиционной» физике свет в этом случае изображают как непрерывную электромагнитную волну, похожую на те поперечные волны, которые бегут по веревке, если один ее конец привязать, например, к дереву, а другой дергать рукой вверх-вниз (рис. 1 б).

Световой поток (непосредственно от источника света – Солнца, лампочки или от ТВ-экрана либо отраженный от освещаемо-

го объекта, – скажем, листа бумаги с рисунком) представляет собой множество таких световых волн, накладывающихся друг на друга; соответственно, плоскости, в которых происходят их электромагнитные колебания, разнонаправлены. Такой свет и называют *неполяризованным*.

Однако есть вещества (например кристаллы минерала – известкового шпата  $\text{CaCO}_3$ ), которые при прохождении света пропускают через себя не все электромагнитные волны, а только те, плоскость колебаний электромагнитной волны которых имеет одно определенное направление (это связано со свойствами кристаллической решетки минерала). Аналогичное явление наблюдается и при отражении света под определенным углом от гладкой поверхности стекла или воды. В результате поток света приобретает новое свойство: все его электромагнитные волны распространяются в одной плоскости. Такой свет называют *поляризованным*, а плоскость, в которой происходят его электромагнитные колебания, называется *плоскостью поляризации* (рис. 2).

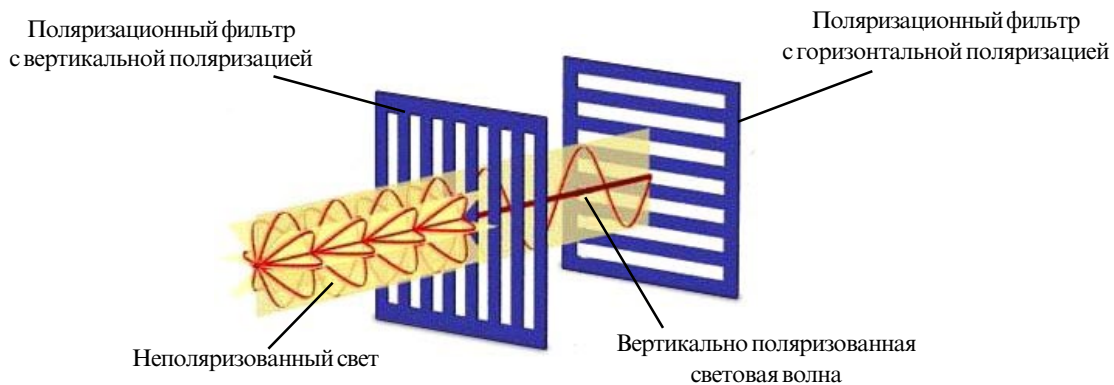


Рис. 2. Эффект поляризации света

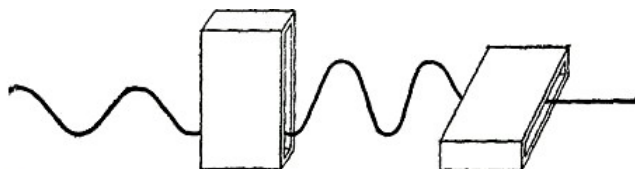


Рис. 3. Механическая аналогия эффекта поляризации света

А что будет, если такой поляризованный свет пропустить через второй такой же *поляризационный фильтр* (или, проще говоря, *поляризатор*)?

Очевидно, что если плоскость поляризации света совпадает с плоскостью поляризации второго фильтра, то такой свет легко, почти без потерь на поглощение, пройдет сквозь второй фильтр. Но если второй фильтр повернуть на  $90^\circ$  вокруг оси – направления распространения света, так что плоскость поляризации фильтра окажется перпендикулярной плоскости поляризации проходящего через него света, то все электромагнитные волны будут поглощаться фильтром (точно так же как он поглощает все «неправильные» электромагнитные волны при пропускании через него неполяризованного света), – см. правую часть рис. 2. Ну, а если плоскость поляризации второго фильтра развернута относительно плоскости поляризации проходящего через него света на некоторый промежуточный угол, то поглощение света будет частичным.

Чтобы легче понять все это, можно использовать все ту же механическую аналогию между электромагнитной световой волной и веревкой, по которой распространяются поперечные колебания. В качестве «поляризационного фильтра» в этом случае

можно использовать фанерные ящички с узкой щелью, через которые пропущена веревка. Если теперь хаотично дергать конец веревки вверх/вниз/влево/вправо, то поперечные волны по веревке будут бежать всякие, во всех плоскостях: получаемые колебания не

поляризованы. Но когда этот «поток волн» доходит до ящичка, например, с вертикальной щелью, сквозь него могут пройти только волны, колебания которых происходят в вертикальной плоскости, – все остальные колебания «срезаются» стенками ящика. В результате на выходе нашего «поляризатора» мы получим волны, поляризованные в вертикальной плоскости. А если теперь далее пропустить веревку через такой же ящичек с горизонтальной щелью, то наша волна сквозь него не пройдет: ее плоскость поляризации перпендикулярна плоскости поляризации нашего второго фильтра (рис. 3).

Рассмотренное явление называется «*плоской поляризацией*» (а поляризованный таким способом свет, соответственно, *плоскополяризованным*), поскольку распространение электромагнитной волны происходит в одной плоскости. Но существуют вещества, которые способны не только поляризовать свет, но и заставлять плоскость его поляризации вращаться вокруг оси – направления распространения световой волны. Такая поляризация называется *круговой* (рис. 4).

В этом случае поляризованный свет может иметь два возможных направления вращения плоскости поляризации: по часовой стрелке (см. рис. 4а) и против часовой стрел-

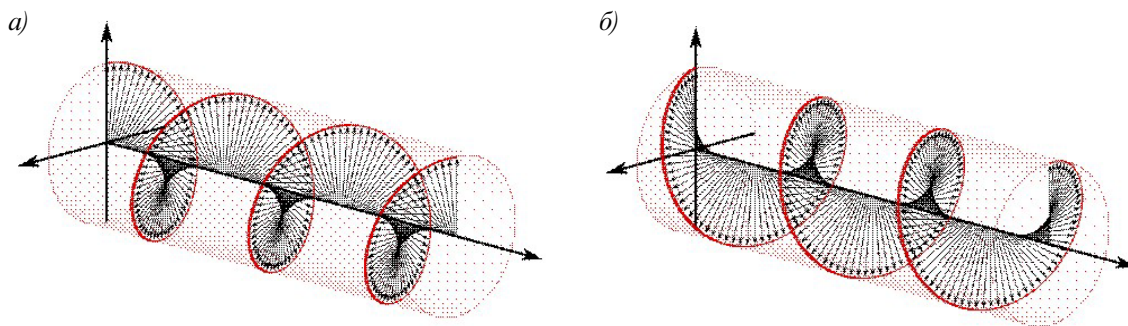


Рис. 4. Эффект круговой поляризации

ки (см. рис. 4б). Поляризационные фильтры же тоже бывают двух видов: одни пропускают свет, «закрученный» по часовой стрелке, а другие – «закрученный» против часовой стрелки. Тогда очевидно, что при несовпадении направления вращения плоскости поляризации световой волны с направлением поляризации, характерным для поляризатора, свет через такой фильтр не пройдет, а при совпадении этих направлений вращения плоскости поляризации свет пройдет через фильтр без поглощения.

Из всего сказанного выше становится понятно: эффект поляризации (как «плоской», так и круговой) дает нам возможность разделять световой поток, состоящий из двух «сортов» поляризованных световых волн. Например, если в исходном потоке присутствуют волны, поляризованные в горизонтальном и вертикальном направлении, то через поляризатор с горизонтальной плоскостью поляризации пройдут только «горизонтальные» световые волны, а через расположенный рядом с ним поляризатор с вертикальной плоскостью поляризации пройдут только «вертикальные» волны. И то же самое можно сделать для смеси световых волн с разнонаправленной круговой поляризацией: один фильтр выделит из общего светового потока только свет, поляризованный по часовой стрелке, а другой фильтр – только свет, поляризованный против часовой стрелки.

### ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D

Что нам дает такая возможность разделения светового потока на две отдельные составляющие?

Предположим, что мы проецируем на киноэкран левый кадр стереопары светом, поляризованным в вертикальной плоскости, а прямо поверх него накладываем правый кадр той же стереопары, но проецируемый светом, поляризованным в горизонтальной плоскости. В результате от экрана будет отражаться смешанный световой поток, состоящий из волн с обоими вариантами поляризации. Невооруженный глаз человека, к сожалению, не способен различать поляриза-

цию света (хотя некоторые животные это умеют). Поэтому зритель увидит на таком экране всего лишь размытую, «двоящуюся» картинку. Но если надеть очки, у которых левое стекло представляет собой поляризатор с вертикальной плоскостью поляризации, а правое стекло – поляризатор с горизонтальной плоскостью поляризации, то все изменится. Теперь из всего общего светового потока от киноэкрана через левый поляризатор пройдут только световые волны с вертикальной плоскостью поляризации, и левый глаз увидит только предназначенную для него картинку – левый кадр стереопары (ведь это он проецировался вертикально поляризованным светом), а правый поляризатор сработает аналогичным образом, но так, что правый глаз увидит только правый кадр стереопары, который проецировался горизонтально поляризованным светом. Левый глаз видит только левый кадр стереопары, а правый – только правый кадр стереопары... Но ведь это именно то, что нужно для получения стереоэффекта!

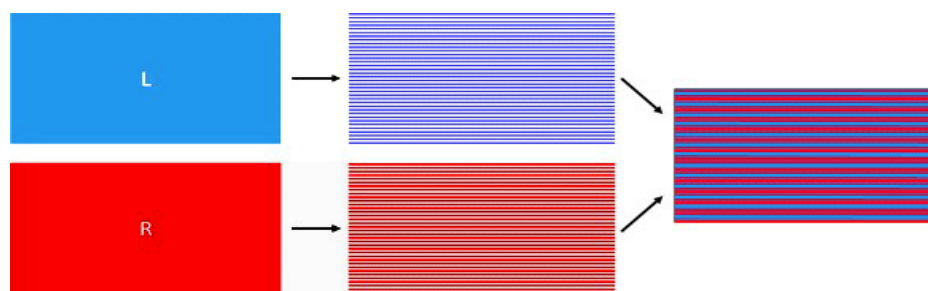
Именно таким способом реализуется поляризационный метод воспроизведения стереоизображений, использованный когда-то в стереокинотеатрах (например в стереокинотеатре «Октябрь» в Москве на Новом Арбате); иногда такой способ используется и в современных стереосистемах.

Впрочем, «плоскополяризованному» стерео свойственен один существенный недостаток (кроме неизбежной необходимости просмотра через специальные очки): если



*...если зритель вздумает, например, для удобства прилечь,.... стереоэффект нарушится.*

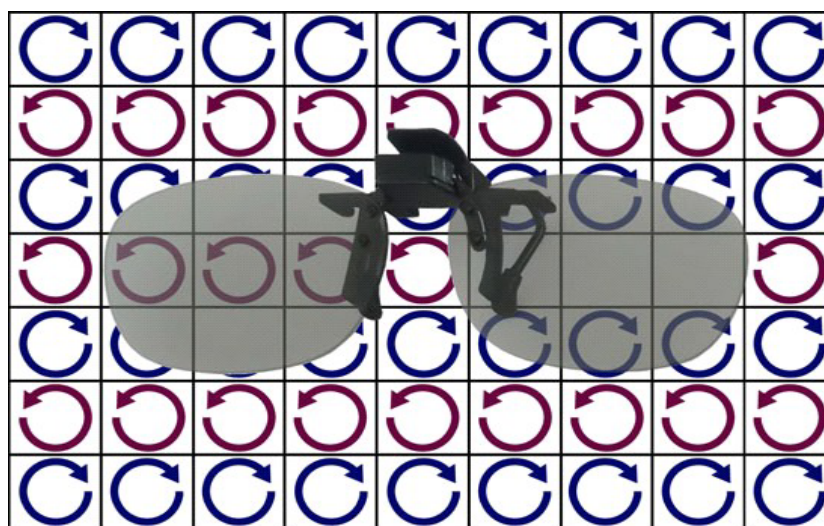




**Рис. 5.** Чередующий вывод на экран левого и правого кадров стереоизображения (иллюстрация с сайта [http://www.thg.ru/display/3d\\_video\\_blu-ray\\_3d/onepage.html](http://www.thg.ru/display/3d_video_blu-ray_3d/onepage.html))

зритель вздумает, например, для удобства прилечь, то его очки (и, соответственно, вставленные в них поляризационные фильтры) повернутся на 90 градусов. В результате направления поляризации этих фильтров тоже повернутся на 90 градусов, а в результате левый глаз станет уже видеть только правый кадр стереопары, а правый глаз – левый кадр, и стереоэффект нарушится. Поэтому в современных стереотелевизорах и стереодисплеях используется поляризационный метод, основанный на применении только круговой поляризации (работа которой, очевидно, от положения зрителя перед телевизором/дисплеем никак не зависит, можно смотреть стереопередачи и стереофильмы хоть сидя, хоть лежа).

Технологически поляризационный метод на экранах стереотелевизоров и стереодисплеев реализуется обычно так. Из левого кадра стереопары берутся и проецируются на экран только нечетные строки пикселей, а из правого кадра – только четные строки пикселей (рис. 5). На экран же нанесена пленка поляризационных фильтров таким способом, что, например, поверх нечетных строк оказывается фильтр, поляризующий свет по часовой стрелке, а поверх четных строк – фильтр, поляризующий свет против часовой стрелки. Зритель же должен для просмотра стереоизображений надеть очки, в которых напротив левого глаза установлен фильтр, пропускающий свет с поляризацией по часовой стрелке, а напротив правого



**Рис. 6.** Реализация чередующего поляризационного метода воспроизведения стереоизображений с применением круговой поляризации (иллюстрация с сайта <http://www.3dnews.ru/3dimension/619406>)

глаза – фильтр, пропускающий свет с поляризацией против часовой стрелки. Тогда опять-таки левый глаз будет видеть только строки, составляющие левый кадр стереопары, а правый глаз – только строки правого кадра стереопары (рис. 6). И в этом случае, очевидно, воспроизведение стереоэффекта не будет зависеть от того, сидит зритель, стоит или лежит на боку. Однако не менее очевидно, что разрешение (количество строк пикселей) для получаемого стереоизображения будет вдвое меньше, чем вертикальное разрешение экрана.

Как нетрудно видеть, поляризационный метод достаточно прост. Однако точно нанести на экран поляризационные фильтры так, чтобы их положение точно соответствовало строкам пикселей, не так-то просто. Нужно высокоточное оборудование, а самое главное – меняется технологический процесс изготовления ЖК-экранов. Поэтому изготовители самых первых стереотелевизоров и стереодисплеев выбирали другой способ, при котором конструкция дисплея или телевизора почти не менялась. И только где-то с начала 2011 года стали появляться поляризационные стереодисплеи Zalman, а чуть позже (летом 2011 года) – первые поляризационные стереотелевизоры LG с поддержкой стереотехнологии Cinema 3D.

Кстати, в некоторых обзорах, посвященных телевизорам LG Cinema 3D (например в заметке [http://www.hdtv.ru/articles/10082-lg\\_cinema\\_3d.html](http://www.hdtv.ru/articles/10082-lg_cinema_3d.html)), отмечено, что смотреть

на них телевизионные передачи можно и в поляризационных очках, используемых в большинстве 3D-кинотеатров. Такая стандартизация очень важна. Вообще, было бы крайне желательным создание (например, на уровне ISO) общемирового стандарта, регламентирующего основные параметры средств визуализации 3D, реализованных на базе технологии круговой поляризации (и, в частности, ориентацию левого и правого поляризационных фильтров). Тогда в дальнейшем можно было бы предполагать, что изготовители электронной техники (различного «калибра») – включая смартфоны и карманные MPEG-плееры) обеспечат взаимосовместимость своих изделий по отношению к используемым для просмотра очкам, то есть один раз купленные (отдельно или в комплекте с каким-либо устройством) поляризационные очки будут пригодны *всегда и везде*. Но самое главное, что при наличии такого стандарта можно надеяться, что левый и правый поляризационные фильтры будут в качестве «дополнительной опции» со временем добавляться и в обычные очки (те самые, для коррекции зрения), а в идеале – в контактные линзы (которые, правда, из-за этого придется уже различать как «левые» и «правые»). Тогда пользоваться поляризационным 3D сможет любой «очкарик» или обладатель контактных линз без необходимости надевать еще и специальные «3D-очки».

**Усенков Дмитрий Юрьевич,**  
старший научный сотрудник  
Института информатизации  
образования РАО, главный редактор  
журнала «Мир 3D/3D World».



Наши авторы, 2012.  
Our authors, 2012.