

# Загадки поляризации

К. КОХАНОВ

**Х**орошо известно, что продолжительная ловля рыбы в солнечный день без защитных очков может привести к сильному утомлению глаз от сверкающих бликов водной ряби. Какие же защитные очки должны использовать рыболовы? Оказывается, в таких очках установлены специальные фильтры – поляроиды. Они «гасят» большую часть отраженного от воды света, оставляя нетронутой основную часть попадающего в глаз прямого светового потока.

Как работают поляроиды? Какое явление положено в основу полезного действия антибликовых очков?<sup>1</sup> Где еще применяется это явление? На эти и другие вопросы мы и попытаемся ответить в этой статье.

**Поляризация отраженного света.** Видимая часть солнечного излучения представляет собой совокупность электромагнитных волн с длинами волн приблизительно от 350 нм до 800 нм. Это означает, что расстояние между максимумами вектора напряженности электрического поля той или иной волны составляет от  $350 \cdot 10^{-9}$  м до  $800 \cdot 10^{-9}$  м. Мы не случайно делаем акцент на электрической составляющей электромагнитной волны – именно изменяющееся электрическое поле в этой волне воспринимается нашим глазом.

Для удобства световой пучок, попадающий в наш глаз, договоримся изображать вектором скорости  $\vec{c}$  вместе с перпендикулярными к нему векторами электрической напряженности  $\vec{E}$ .

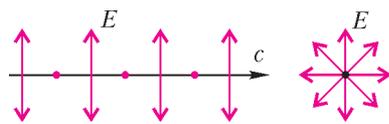


Рис. 1

На рисунке 1 показан световой луч – вид сбоку и в направлении «к нам». В так называемом естественном свете в каждом луче колебания электрической напряженности происходят по всем направлениям, перпендикулярным скорости. Но для простоты указывают не все векторы  $\vec{E}$ , а лишь несколько.

Рассмотрим отражение светового луча от гладкой диэлектрической поверхности. Попавшая на поверхность диэлектрика электромагнитная волна поглощается молекулой и тут же переизлучается в виде двух волн, одна из которых распространяется в толщу диэлектрика, а другая – обратно в ту среду, из которой пришла падающая волна. Если угол между отраженным и преломленным лучами окажется прямым, то в отраженной волне останутся колебания вектора напряженности только в одном направ-

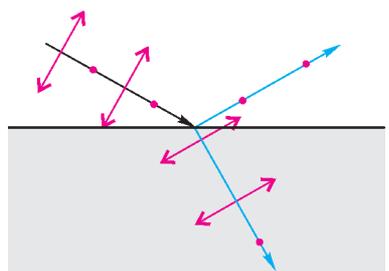


Рис. 2

<sup>1</sup> Об антибликовых очках, а также о жидкокристаллических дисплеях можно прочитать в «Кванте» №2 за 2009 год в разделе «Погоулки с физикой». (Прим.ред.)

лении – перпендикулярном плоскости чертежа в нашем случае (рис.2). Почему так?

Дело в том, что соответствующая волна была рождена молекулой, «раскачанной» падающим светом, и некоторые векторы напряженности оказались параллельными вектору скорости отраженного луча. Однако в световой волне колебаний с таким направлением быть не может – волна является поперечной. Так отраженный от диэлектрика свет оказывается плоскополяризованным, т.е. лишенным колебаний вектора электрической напряженности во всех плоскостях, кроме одной. Иногда такую поляризацию называют линейной.

В заключение отметим, что угол падения, при котором световой луч становится плоскополяризованным, называется углом Брюстера  $\Phi_B$ . Он связан с показателем преломления среды  $n$  соотношением  $\text{tg } \Phi_B = n$ .

**Регистрация поляризации.** Невооруженный глаз не в состоянии определить, является ли попавший в него свет поляризованным. Обнаружить линейную поляризацию можно с помощью специального устройства – поляризатора, превращающего естественный свет в поляризованный. В школе в качестве поляризатора чаще всего используется пластинка турмалина или поляроид. Поворачивая поляризатор – часто поляризатор в этой роли называют анализатором – и наблюдая за изменением интенсивности прошедшего через него света, делают вывод о поляризованности световой волны. Если при некотором положении анализатора интенсивность света уменьшается до нуля, то свет является плоскополяризованным.

Как уже говорилось, если взглянуть через поляроид на солнечные блики, появляющиеся на водной глади, то окажется, что их яркость значительно уменьшается и они больше не мешают наблюдениям за водой.

Интересный результат получается также при рассматривании сквозь поляроид экрана жидкокристаллического монитора. В зависимости от угла поворота анализатора яркость экрана значительно меняется (рис.3). Тот же самый эффект



Рис. 3

получится при экспериментировании с жидкокристаллическим экраном часов или сотового телефона.

**Особенности прохождения через поляроид инфракрасного света.** Наиболее распространенными источниками инфракрасных (ИК) волн являются нагретые тела. Такие волны имеют длину волны приблизительно от 760 нм до 1 мм и невооруженным глазом не воспринимаются. ИК-излучение регистрируется приборами с зарядовой связью (ПЗС)<sup>2</sup>, которые лежат в основе светочувствительных элементов цифровых фотоаппаратов и цифровых камер мобильных телефонов.

<sup>2</sup> Об этих приборах можно прочитать в «Кванте» №1 за 2010 год в разделе «Новости науки». (Прим. Ред.)

Удобное для экспериментирования излучение можно создать пультом дистанционного управления, который посылает управляющие сигналы, например к телевизору, как раз посредством электромагнитных импульсов инфракрасного диапазона. Эти импульсы испускаются светодиодом. Если на работающий светодиод направить объектив цифрового фотоаппарата, то на его экранчике можно заметить пульсирующее фиолетовое свечение диода.

Для лучшего наблюдения свечения можно подключить диод непосредственно к источнику тока (рис.4; здесь изображены элемент питания и светодиод по отдельности и в соединенном виде), соблюдая полярность (длинный контакт



Рис. 4

– к положительному полюсу; пайка контакта не нужна). В качестве источника тока подойдет батарейка типа LR44.

Если эффект наблюдается слабо, можно попробовать сделать следующее: 1) создать в помещении небольшое затемнение или, по крайней мере, убедиться, что в помещение не попадают прямые солнечные лучи; 2) предварительно подготовить фотоаппарат, т.е. установить режим «макросъемка», поставить в автоматический режим чувствительность фотоаппарата и скорость срабатывания затвора и отключить фотовспышку; 3) диод закрепить непосредственно перед объективом фотоаппарата.

Перейдем непосредственно к рассматриваемому вопросу и выясним, в чем же особенность прохождения через поляриoid инфракрасного света. Для опыта нам понадобится лампа накаливания (фонарик), два пленочных поляроида (их можно приобрести в магазине рыболовных снастей) и цифровой фотоаппарат. Зажженную лампу располагаем напротив объектива фотоаппарата. Между ними помещаем два поляроида, поворачиваем один из них до того момента, пока свет от лампы не перестанет через них проходить. А вот теперь попробуем сфотографировать этот «исчезнувший» проходящий пучок на цифровой фотоаппарат. Результат оказывается удивительным – фотоаппарат регистрирует свечение. Отсюда мы делаем вывод, что поляриды не поляризовали инфракрасное излучение.

**Фокусы с поляризацией.** Следующие эксперименты вы можете показать своим друзьям как физические фокусы.

**Исчезновение лазерного «зайчика».** Схема установки для эксперимента представлена на рисунке 5. Пучок от лазерной указки (3), которая включается кнопкой (4), с помощью зеркала (2) направляется на экран (1). При изменении наклона зеркала относи-

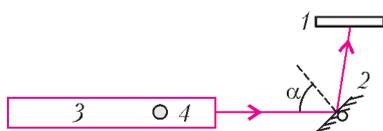


Рис. 5

тельно оси пучка яркость «зайчика» остается примерно одинаковой независимо от его положения на экране.

Затем эксперимент повторяется еще раз, но с другим зеркальцем. На экран вновь направляется лазерный пучок. Но теперь видно, что при повороте зеркальца яркость пятна меняется и при определенном угле «зайчик» исчезает совсем. Почему?

Оказывается, в опыте используется специально подготовленное зеркальце размером приблизительно  $30 \times 70$  мм. Зеркальце двухстороннее: на одной стороне нанесено алюминиевое (обычное для зеркала) напыление, а другая сторона заклеена черной бумагой. И с обеих сторон зеркальца приклеены прозрачные стекла. В первом случае зеркальце было обращено к световому пучку алюминиевым напылением, а второй раз – черной подложкой. Иными словами, сначала свет отражался от электропроводящей поверхности, а затем – от диэлектрической.

Далее следует учесть, что лазерное излучение представляет собой линейно поляризованный свет. Причина разных результатов экспериментов заключается в особенностях механизма отражения такого света от различных по электрическим свойствам поверхностей. Так, при отражении от диэлектрика линейно поляризованный свет не изменяет характера поляризации (не может стать, например, неполяризованным или эллиптически поляризованным), поэтому при угле падения, равном углу Брюстера, свет вообще не отражается. При взаимодействии же поляризованного света с проводящей поверхностью линейная поляризация преобразуется в круговую, что ведет к возможности наблюдения отраженного от зеркала луча даже при угле Брюстера.

Заметим, что в световом пучке, создаваемом лазерной указкой, вектор электрической напряженности лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости, образованной осью пучка и кнопкой-включателем (рис.6). Поэтому для успешного проведения опыта необходимо, чтобы кнопка на указке «смотрела» на нас.

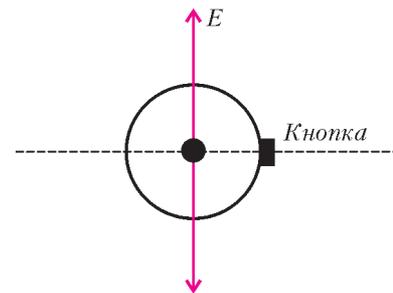


Рис. 6

**Появление лазерного «зайчика».** Предыдущую демонстрацию можно продолжить таким экспериментом. Когда отраженное пятнышко исчезло (при расположении диэлектрического зеркальца под углом Брюстера), между лазером и зеркальцем помещается стеклянная пластинка. При этом на экране вспыхивает лазерное пятнышко, что означает отражение поляризованного света от диэлектрической поверхности даже при угле Брюстера. А вот если пластинку немного сдвинуть относительно оси светового пучка, то пятнышко не «проявляется». Почему?

Дело в том, что половина стеклянной пластинки обклеена целлофановой пленкой (практически незаметной на стекле). Пленка изменяет ориентацию плоскости поляризации лазерного луча, отчего на зеркальце попадает пучок, поляризованный в иной плоскости, чем ранее, и при взаимодействии с диэлектрической стороной зеркальца не гасится полностью.

Для опыта подойдет, например, целлофановая пленка от упаковки лазерной указки.

**Загадка отражения экрана монитора.** На рисунке 7 показано отражение экрана жидкокристаллического монитора от двух стекол, расположенных около экрана перпенди-



Рис. 7

жидкокристаллического монитора, линейно поляризован. Поскольку стекло является диэлектриком, то свет при отражении от него также поляризуется. Улыбка же появилась вследствие того, что на экран была наложена целлофановая пленка, вырезанная в виде улыбки. Как уже говорилось, целлофан поворачивает вектор поляризации, поэтому плос-

кулярно друг другу. В одном из стекол яркость отраженного экрана значительно больше, чем в другом. В нижнем отражении экрана хорошо видна темная улыбка (на боковом отражении также виден краешек улыбки, только светлой). Как удалось добиться такого эффекта?

Напомним, что свет, выходящий из экрана

кость поляризации света, вышедшего из целлофана, иная, чем у остального света, и при отражении от стекла гашение световых потоков оказывается неодинаковым.

Для того чтобы целлофановая пленка не была видна на экране, ее нужно смочить водой и, плотно приложив к экрану, пригладить рукой.

**Применение поляризации.** Явление поляризации света при отражении используется, например, для обнаружения из космоса пленок нефти на поверхности моря.

Свет различных небесных светил и космических объектов во многих случаях оказывается поляризованным. Исследование его поляризации дает существенную информацию о свойствах планет, звезд, туманностей и так далее.

Рассеянный свет, например солнечный свет, рассеянный на флуктуациях плотности атмосферы, тоже частично поляризован. Снег или облака уменьшают степень поляризации рассеянного света, и это обстоятельство можно использовать для прогнозирования погоды. По степени поляризации солнечного света можно также определять уровень загрязненности атмосферы.