



ПРОБЛЕМЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ



Возьмите лупу, подойдите к стене, противоположной окну, и медленно приблизьте линзу к ее поверхности. В определенный момент вместо расплывчатого светлого пятна вы увидите перевернутое вверх ногами изображение комнаты. Почувствовали себя изобретателем нового типа фотокамеры?

Объектив является одной из важнейших частей фотоаппарата. Мы привыкли, что это сложные многоголовые оптические приборы, и редко задумываемся, зачем их такими делают. И только когда собираемся приобретать новый объектив, мы сталкиваемся с понятием оптических aberrаций и с названиями их разновидностей. Наиболее характерными из них являются хроматическая, сферическая, кривизна поля изображения, кома, дисторсия, астигматизм.

Объективы стремятся сконструировать так, чтобы они давали максимально четкое изображение в поле кадра. Для определения резкостных свойств оптики используют специальный параметр – разрешающую способность. Численно она выражается как количество черных линий на белом фоне (при том что толщина линии равна промежутку между ними), наблюдаемых раздельно на 1 мм оптического изображения. От разрешающей способности объектива зависит максимальный формат, которым можно будет напечатать качественную фотографию. Зрение человека, конечно же, имеет определенный предел собственной разрешающей способности. Так, для того чтобы изображение, отпечатанное на листе размером примерно 20×30 см, казалось резким, необходима раздельная передача не менее пяти линий на миллиметр. Таких параметров можно добиться при увеличении традиционного кадра малоформатной 35-миллиметровой пленки в восемь раз. Суммарная разрешающая способность системы объектив–пленка для получения указанных параметров должна была составлять 35–70 линий/мм. (Если речь шла об отпечатках большего формата, рекомендовалось использовать средне- и крупноформатную пленку, при работе с которой можно обой-

тись меньшей степенью увеличения кадра). Поскольку более крупные снимки (например, 30×40 см) рассматривают с большего расстояния, увеличение нерезкости при получении изображения с «узкопленочного» кадра размером 24×36 мм остается менее заметным.

Если формально перевести пленочные стандарты в цифровые, то выходит, что одинаковое с кадром 24×36 мм качество снимка для формата 20×30 см должно обеспечиваться монохромно-чувствительной 6-мегапиксельной матрицей, а 30×40 см – 12-мегапиксельной, при таком же размере матрицы, как традиционный кадр 35-миллиметровой пленки. Следовательно, нужно, чтобы объектив для матрицы меньшего размера имел более высокую разрешающую способность. Однако у оптического стекла тоже есть свой предел физических характеристик. В действительности же эти упрощенные расчеты не учитывают многих факторов, влияющих на качество изображения, и не отражают необходимого разрешения системы объектив–матрица для крупноформатных отпечатков.

Что же вызывает ухудшение рисунка, создаваемого объективом, и приводит к снижению его разрешающей способности? Рассмотрим недостатки изображения, полученного с помощью одной простой линзы.



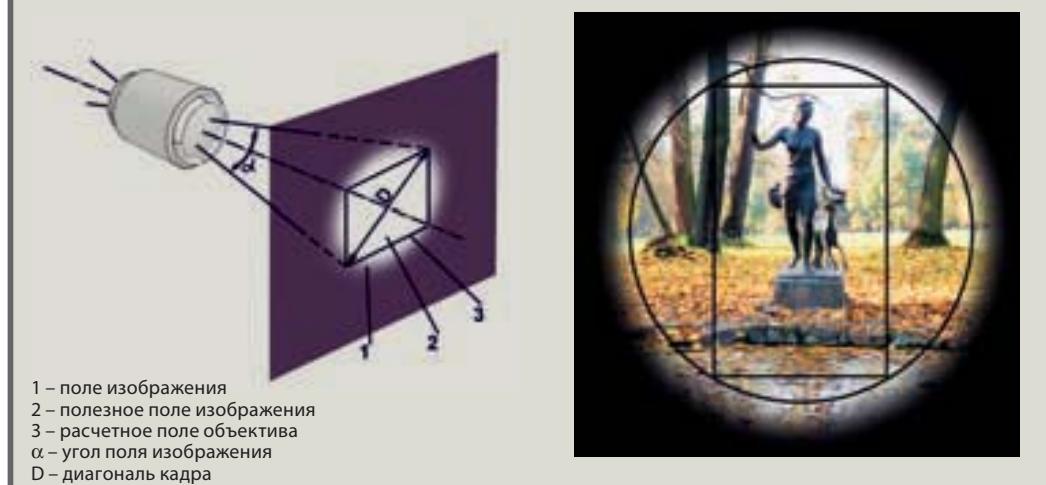
СПРАВКА

АБЕРРАЦИИ –

это погрешности оптической картины, получаемой с помощью объектива. Они вызваны несовершенством преломляющих и отражающих поверхностей реальных линз и проявляются в нечеткости фотоизображения, его окрашенности, нарушении геометрического подобия объекта и его изображения в кадре.

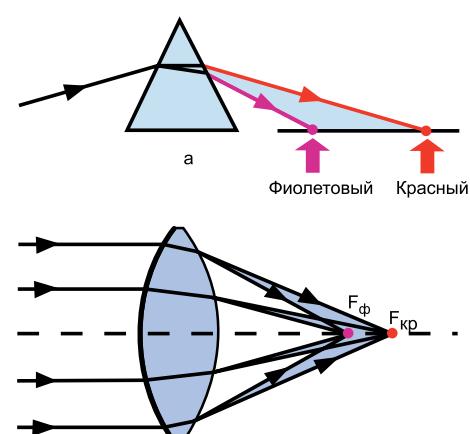
Поле кадра

Изображению, создаваемому простой линзой, свойственны многие недостатки. Вы, очевидно, заметили, что картинка, полученная на стене с помощью увеличительного стекла, имеет форму круга с размытой границей. При приближении к этой границе детали будут становиться менее четкими. Объектив создает подобный рисунок, поэтому при конструировании фотокамер используется только центральная часть проекции, так называемое полезное поле изображения. Его диаметр делают равным диагонали кадра. А вот первые фотоаппараты Kodak экспонировали круглый кадр, соответствующий полезному полу изображения.



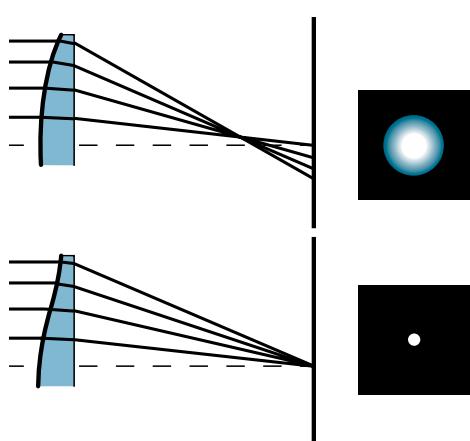
ХРОМАТИЗМ

Хроматическая aberrация возникает из-за того, что, проходя через линзу, видимый свет разлагается на составляющие его цветные лучи. Синие и фиолетовые преломляются сильнее и сходятся ближе к линзе, чем оранжевые и красные. В результате, например, белая точка изображается в виде пятна с по-разному окрашенными центром и краями. Черная линия будет иметь кайму, с одной стороны синюю, с другой – красную. Исправляется хроматическая aberrация подбором сочетания положительных и отрицательных линз, изготовленных из стекол с разным коэффициентом преломления.



СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ

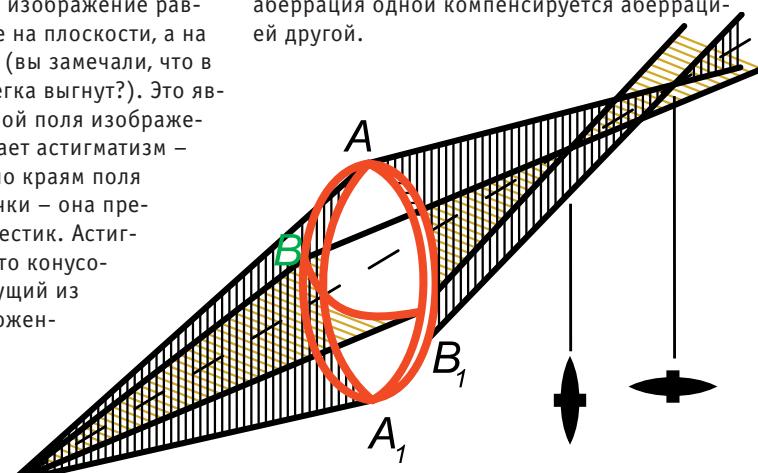
Линзу можно рассматривать как сумму призм. Наклон граней в центральной части меньше, чем скраю. Середина линзы и края фокусируют проходящие через них лучи по-разному. В результате центральные пучки света фокусируются дальше от объектива, чем краевые. Устраняют сферическую aberrацию так же, как и хроматическую – подбором линз или же используя в конструкции асферические элементы, у которых середина и край имеют разные радиусы кривизны. Асферическая фотооптика позволяет получить более высокую четкость изображения по краю кадра.



КРИВИзна ПОЛЯ И АСТИГМАТИЗМ

Простая линза фокусирует изображение равноудаленных предметов не на плоскости, а на сферической поверхности (вы замечали, что в кинотеатре экран тоже слегка выгнут?). Это явление называется кривизной поля изображения. Та же причина вызывает астигматизм – невозможность получить по краям поля проекцию точки в виде точки – она превращается в маленький крестик. Астигматизм объясняется тем, что конусообразный пучок лучей, идущий из светящейся точки, расположенной в стороне от главной оптической оси, и падающий наклонно к ней, по-разному преломляется на раз-

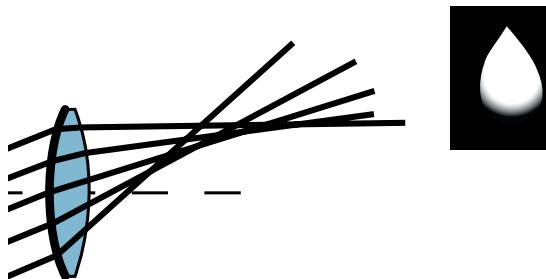
ных участках линзы. Устраняется этот недостаток подбором линз разной кривизны с различными показателями преломления, в этом случае aberrация одной компенсируется aberrацией другой.



ОСНОВЫ

КОМА

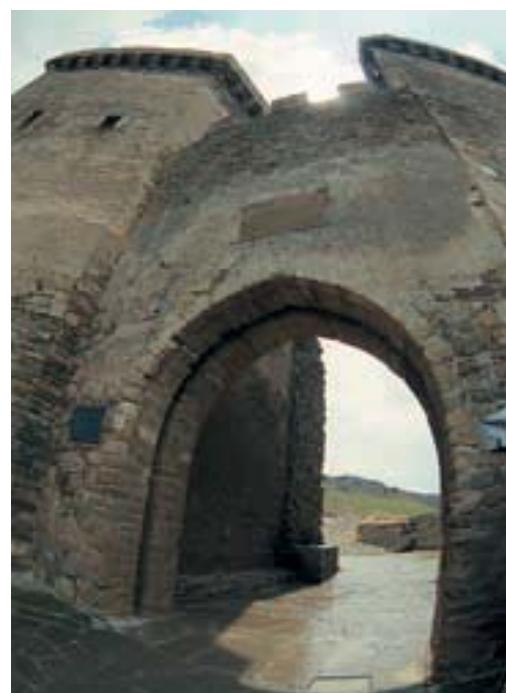
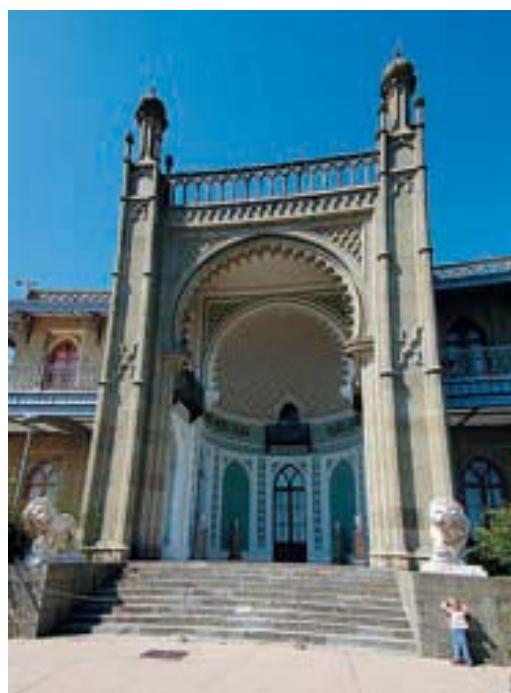
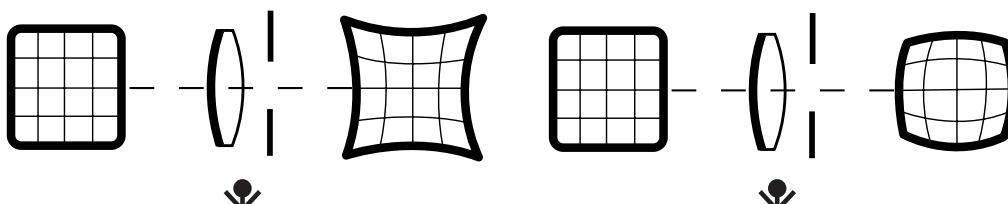
Кома представляет собой сферическую aberrацию наклонного пучка лучей, исходящих из точки, лежащей вне главной оптической оси. В результате изображение точки приобретает форму запятой или кометы с ярким ядром и менее ярким хвостом.



ДИСТОРСИЯ

Дисторсия заключается в искривлении прямых линий по краям кадра и возникает из-за изменения масштаба изображения по мере удаления от цент-

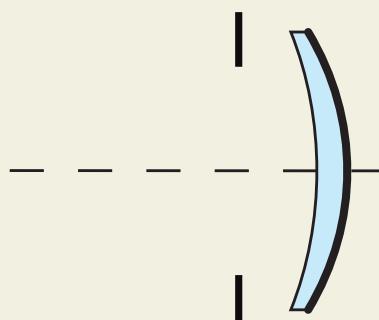
ра снимка к краям. В зависимости от расположения диафрагмы внутри объектива она бывает двух видов – подушкообразная и бочкообразная.



РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ

Многие aberrации уменьшаются при диафрагмировании объектива, поскольку отсекаются краевые участки линз. Но при максимально закрытом отверстии диафрагмы не только увеличивается время экспозиции, но и усиливаются некоторые aberrации, поэтому лучшее качество изображения объективы обеспечивают на средних значениях диафрагмы.

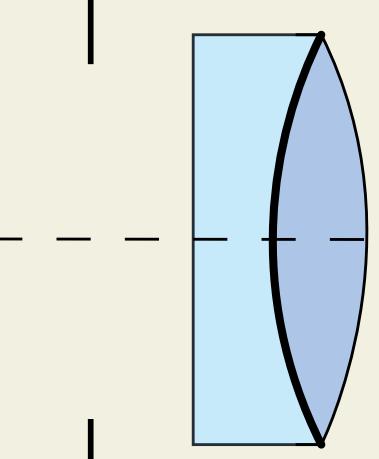
Совершенствовать объективы начали еще для камер-обскур. В XIX–начале XX вв. были решены многие проблемы конструирования фотооптики. Дальнейшее ее развитие стимулировалось уменьшением формата кадра и размеров фотокамер. Были созданы объективы с переменным фокусным расстоянием, сверхширокоугольные объективы и супертелевики. При расчете объективов стремятся так подобрать форму и взаимное расположение линз, состав стекла и его коэффициенты преломления, чтобы aberrации собирающих линз компенсировались обратными aberrациями линз рассеивающих, поэтому современные объективы состоят не менее чем из четырех элементов. Абсолютное устранение aberrаций невозможно, однако на помощь оптике сегодня могут прийти цифровые методы получения изображения и его улучшения.



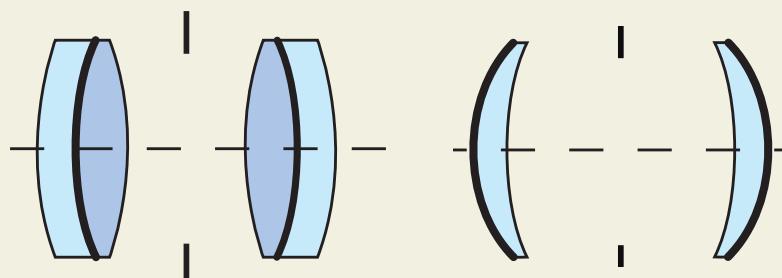
Первым объективом был монокль – одиночная вогнуто-выпуклая собирающая линза, обращенная своей выпуклой стороной к фотоматериалу (создан в 1812 г. У. Волластоном). Он давал удовлетворительное по резкости изображение в пределах довольно небольшого поля и при относительном отверстии не более 1:12. Основной недостаток монокля – сильно выраженная хроматическая aberrация и дисторсия. Сейчас этот объектив снова популярен, а его недостатки используются как художественный прием для создания мягкого, размытого изображения, в том числе и при съемке цифровыми зеркальными камераами.

1812 1828

Объектив из двух склеенных между собой линз – собирающей и рассеивающей, изготовленных из разных сортов стекла, называется **АХРОМАТ** (создан в 1828 г. Ш. Шевалье). Он свободен от хроматической aberrации и при небольшом относительном отверстии (1:9–1:12) – от астигматизма, но обладает сильной бочкообразной дисторсией. В прошлом использовался как пейзажный объектив.



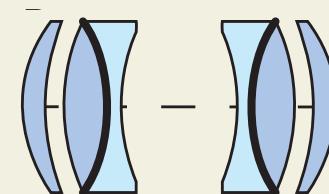
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТИВОВ



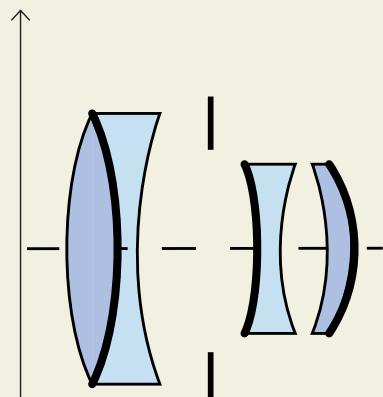
АПЛАНАТ состоял уже из четырех линз – двух симметрично расположенных относительно диафрагмы ахроматов. Он свободен от дисторсии, имеет слабый хроматизм и некоторые другие aberrации, но обладает астигматизмом. Относительное отверстие достигало значения 1:5. Апланат изобретен в **1865** г. К. Штейнгелем и до начала XX века был одним из самых популярных объективов.

Почти одновременно с апланатом К. Штейнгель изобрел **ПЕРИСКОП** – объектив из двух положительных менисков с диафрагмой между ними. В нем была устранена дисторсия, но сохранились все остальные aberrации.

В **1892** г. появился симметричный анастигмат «Дагор», имеющий хорошую коррекцию астигматизма и малую дисторсию изображения. В **1893** г. в Англии Г. Тейлором был разработан трехлинзовый анастигмат типа «триплет» (доживший до конца XX века в камерах «Смена»).

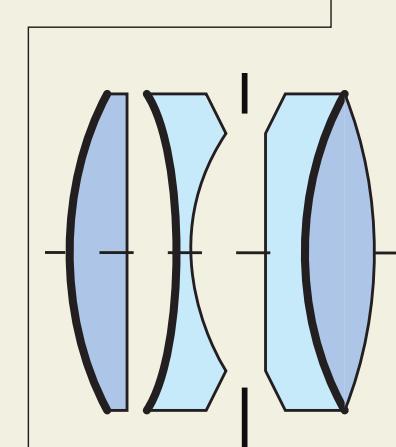
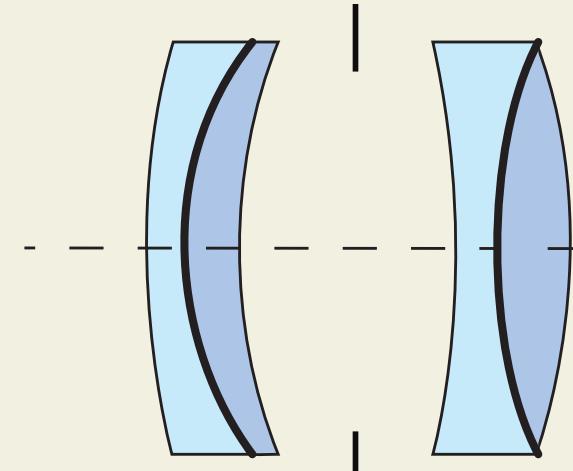


В **1896** г. П. Рудольфом был рассчитан знаменитый симметричный анастигмат «Планар», состоящий из двух блоков по три линзы каждый. Рост числа линз был связан со стремлением увеличить относительное отверстие (светосилу) объектива. У «Планара» оно было 1:3,3 вместо 1:6 у «Протара».



В **1840** г. профессором Венского университета математиком Й. Петцвальем изобретен портретный объектив со светосилой, равной 1:3,3, а изготовлен его Петер Фридрих Фойхтлендер. Впервые было достигнуто одновременное исправление сферической aberrации, комы и астигматизма при удовлетворительной величине хроматических aberrаций. Самый светильный объектив по схеме Петцвала был собран в **1930** г. Робертом Рихтером в компании «Карл Цейсс». Он имел относительное отверстие 1:1,9 и был хорошо откорректирован.

Ослабить остаточный астигматизм и связанную с ним кривизну поля удалось с помощью **АНАСТИГМАТА**. В первых таких объективах в основу положена схема апланата, но была разработана конструкция с несимметричным расположением линз. В **1888–1889** гг. сотрудник фирмы «Карл Цейсс» П. Рудольф нашел способ исправления астигматизма. Этому способствовала разработка методик математического расчета объективов и расширение ассортимента оптического стекла. В **1891** г. П. Рудольф использовал новый его сорт в своем объективе «Протар». Это был один из первых объективов-анастигматов с большой диафрагмой.



В **1902** г. П. Рудольфом был рассчитан и создан легендарный четырехлинзовый объектив «Тессар». Все современные объективы являются анастигматами.

Использование матрицы вместо пленки предъявляет новые требования к объективам. Классические схемы модернизируются: не всякая оптика, хорошо зарекомендовавшая себя на пленочных фотоаппаратах, столь же успешно может работать с цифровыми моделями.