

# *Оптическая терминология*



## Значение света в фотографии

### Что такое «свет»?

Свет - это физическое явление, обуславливающее создание зрительных образов посредством возбуждения зрительных нервов; в широком смысле слова свет можно определить как один из типов электромагнитных волн.

Типы электромагнитного излучения зависят от длины волны. Электромагнитное излучение классифицируется следующим образом (в порядке возрастания длины волны): гамма-излучение, рентгеновское излучение, ультрафиолетовое излучение, видимое световое излучение, инфракрасное излучение, дальнее инфракрасное излучение, ультракоротковолновое излучение (ОВЧ), коротковолновое излучение, средневолновое излучение (СЧ) и длинноволновое излучение. В фотографии наиболее часто используется излучение с длиной волны в диапазоне видимого света (400-700 нм). Поскольку свет является одним из видов электромагнитного излучения, его можно рассматривать как разновидность волн -

Рис. 1. Моделирование человеческого глаза

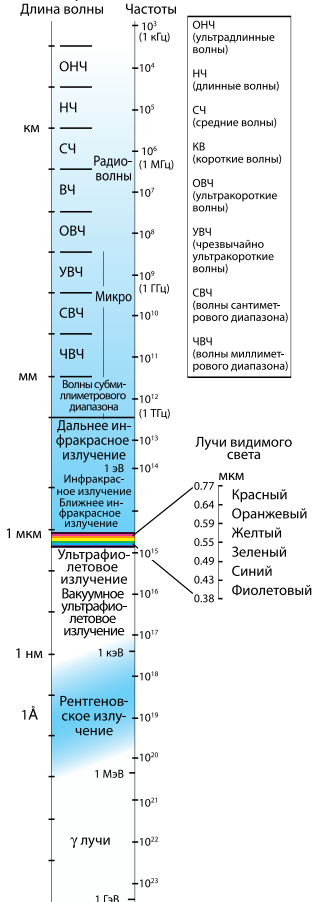
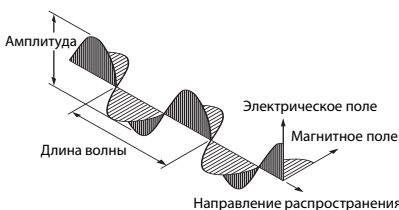


Рис. 2. Моделирование человеческого глаза



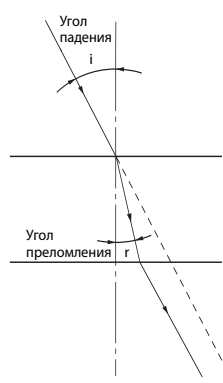
«световые волны». Световая волна представляет собой электромагнитную волну, в которой наблюдаются колебания электрического и магнитного полей под прямым углом друг к другу в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. Человеческий глаз может непосредственно различать два параметра световой волны - длину волны и амплитуду. Различие длин волн воспринимается как различие цветов (в пределах диапазона видимого света), а различие значений амплитуды - как различие яркости (интенсивности света). Третий параметр, не различаемый человеческим глазом, - направление колебаний в плоскости, перпендикулярной направлению распространения световой волны (поляризованный свет).

## Основные явления, связанные со светом

### Преломление

Явление, заключающееся в изменении направления светового луча при распространении света через границу двух сред (например, из пустоты или воздуха в стекло или воду либо наоборот).

Рис. 3. Преломление света



### Показатель преломления

Числовое значение, характеризующее степень преломления для данной среды и определяемое формулой  $n = \sin i / \sin r$ . «n» - постоянная величина, не зависящая от угла падения светового луча; она означает показатель преломления среды по отношению к среде, из которой поступает свет.

В случае обычного оптического стекла «n», как правило, означает показатель преломления стекла относительно воздуха.

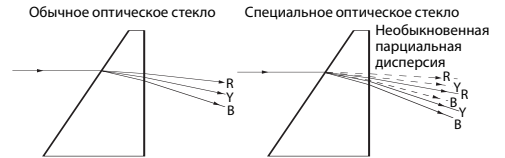
### Дисперсия

Явление, наблюдаемое в том случае, если оптические свойства среды зависят от длины волны света, проходящего через эту среду. При входе света в линзу или призму характеристики дисперсии для линзы или призмы обуславливают зависимость показателя преломления от длины волны, приводящую к дисперсии света. Иногда это явление называют также цветовой дисперсией.

## Необычные характеристики парциальной дисперсии

Человеческий глаз способен воспринимать монохроматический свет с длиной волны в диапазоне от 400 нм (фиолетовый) до 700 нм (красный). В этом диапазоне разность показателей преломления для двух различных длин волн называется парциальной дисперсией. Для большинства обычных оптических материалов характеристики парциальной дисперсии сходны. Однако некоторые оптические материалы обладают особыми характеристиками парциальной дисперсии: например, стекло с более высокой парциальной дисперсией при малых длинах волн, FK-стекло с малым показателем преломления и низкими характеристиками парциальной дисперсии, флюорит и стекло с более высокой парциальной дисперсией при больших длинах волн. Стекла этих типов рассматриваются как материалы с необычными характеристиками парциальной дисперсии. Стекла с такими свойствами используются при изготовлении апохроматических объективов для компенсации хроматической aberrации.

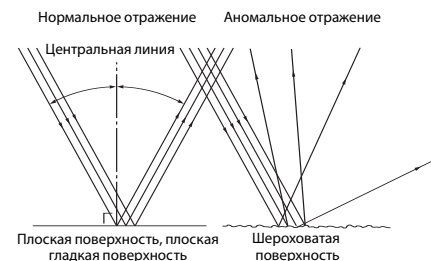
Рис. 4. Дисперсия света при прохождении через призму



### Отражение

В отличие от преломления, явление отражения заключается в том, что порция света, падающего на поверхность стекла или другой среды, не проникает в эту среду и распространяется в новом направлении. Направление распространения не зависит от длины волны. При прохождении света через линзу без противотражательного покрытия приблизительно 5% света отражается на границе стекла с воздухом в момент входа в линзу и выхода из нее. Доля отраженного света зависит от показателя преломления для стекла. → Покрытие (стр. 174)

Рис. 5. Отражение света



## Дифракция

Явление, обусловленное волновой природой света и заключающееся в том, что световые волны огибают края объекта и проникают в тень этого объекта. Дифракция в фотографическом объективе является причиной появления бликов (дифракционных бликов), которые возникают при огибании краев диафрагмы световыми лучами. Хотя дифракционные блики, как правило, появляются в том случае, если диаметр диафрагмы меньше определенной величины, они зависят не только от диаметра диафрагмы, но и от ряда других факторов, таких как длина световой волны, фокусное расстояние и светосила объектива. Дифракционные блики снижают контрастность и разрешение изображения, что приводит к нерезкому изображению. С помощью многослойных дифракционных оптических элементов, разработанных компанией Canon, можно управлять направлением света путем преднамеренного создания дифракции.

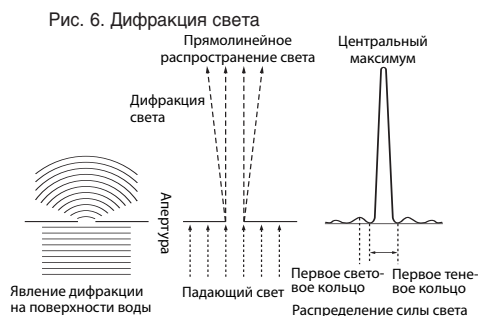
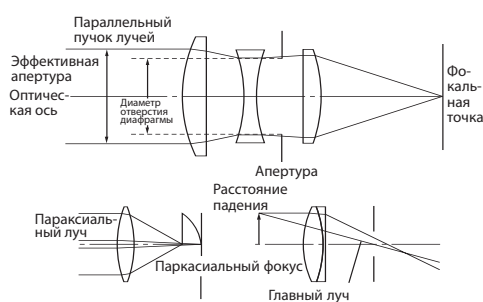


Рис. 6. Дифракция света

## Оптические термины, связанные с прохождением света через объектив

Рис. 7. Оптические термины, связанные с прохождением света через объектив



## Оптическая ось

Прямая, соединяющая центральные точки сферических поверхностей на каждой стороне линзы. Другими словами, оптическая ось представляет собой воображаемую центральную линию, соединяющую центры кривизны обеих поверхностей линзы. В фотографических объективах, состоящих из нескольких линз, чрезвычайно важно точное выравнивание оптической оси каждой линзы по оптическим осям других линз. В частности, в зум-объективах, которые состоят из нескольких групп линз

с возможностью их сложного перемещения друг относительно друга, для сохранения надлежащего выравнивания оптических осей необходима особо точная конструкция тубуса.

## Параксимальный луч

Световой луч, проходящий близко к оптической оси и отклоняющийся от нее на очень малый угол. Точка, в которой сходятся параксимальные лучи, называется параксимальным фокусом. Поскольку изображение, сформированное монохроматическим параксимальным лучом, в принципе не подвержено aberrациям, параксимальный луч играет важную роль в изучении основ работы систем линз.

## Главный луч

Световой луч, входящий в объектив под некоторым углом в точке, отличной от точки оптической оси, и проходящий через центр отверстия диафрагмы. Главные световые лучи играют важнейшую роль, поскольку они участвуют в экспозиции изображения при любом диаметре отверстия диафрагмы - от максимальной апертуры до минимальной апертуры.

## Параллельный пучок лучей

Группа световых лучей, проходящих параллельно оптической оси из бесконечно удаленной точки. При прохождении таких лучей через линзу они сходятся в виде конуса и формируют изображение точки в фокальной плоскости.

## Трассировка лучей

Вычисление условий прохождения различных световых лучей через объектив средствами геометрической оптики. Вычисления выполняются на мощных компьютерах.

## Апертура/эффективная апертура

Апертура объектива связана с диаметром группы световых лучей, проходящих через объектив, и определяет яркость изображения объекта, формируемого в фокальной плоскости. Оптическая апертура (называемая также эффективной апертурой) отличается от истинной апертуры тем, что она зависит не от фактического диаметра объектива, а от диаметра группы световых лучей, проходящих через объектив. Если в объектив входит пучок параллельных лучей, а группа этих лучей проходит через отверстие диафрагмы, диаметр этой группы лучей на момент пересечения поверхности передней линзы равен эффективной апертуре объектива.

## Диафрагма/апертура

Отверстие, регулирующее диаметр группы световых лучей, проходящих через объектив. В сменных объективах, которые используются в зеркальных камерах, этот механизм, как правило,

реализован в виде ирисовой диафрагмы, состоящей из нескольких лепестков, перемещение которых обеспечивает непрерывное изменение диаметра отверстия. В традиционных объективах зеркальных камер апертура регулируется с помощью кольца диафрагмы на тубусе объектива. Однако в объективах современных камер настройка апертуры, как правило, выполняется с электронной панели на корпусе камеры.

## Диафрагма с круглой апертурой

В случае диафрагм с обычной апертурой при уменьшении апертуры она приобретает форму многоугольника. В диафрагмах с круглой апертурой предусмотрена оптимизация формы лепестков, которая даже при значительном уменьшении апертуры по сравнению с максимальной обеспечивает форму отверстия, близкую к окружности. Объектив, снабженный диафрагмой с круглой апертурой, благодаря круглой форме точечного источника света позволяет получать фотографии с эффектом размытого фона.

## Автоматизированная диафрагма

Обычная система управления диафрагмой, применяемая в зеркальных камерах, работает следующим образом: во время наводки на резкость и выбора композиции механизм диафрагмы полностью открывается для получения яркого изображения в видоискателе, при нажатии кнопки затвора апертура автоматически уменьшается до величины, необходимой для правильной экспозиции, а по завершении экспонирования апертура снова автоматически увеличивается до максимальной. В традиционных объективах для автоматического управления диафрагмой применяются рычажные механизмы, а в объективах EF - электронные сигналы, обеспечивающие более точную регулировку. Посмотрев в объектив спереди в момент спуска затвора, можно увидеть мгновенное изменение апертуры.

## Расстояние падения

Расстояние от оптической оси до параллельного луча, входящего в объектив.

## Входной зрачок/выходной зрачок

Изображение объектива на передней стороне диафрагмы, т.е. кажущееся отверстие диафрагмы с точки зрения наблюдателя, расположенного спереди от объектива, называется входным зрачком; его величина соответствует эффективной апертуре объектива. Кажущееся отверстие диафрагмы с точки зрения наблюдателя, расположенного сзади от объектива (изображение объектива на задней стороне диафрагмы) называется выходным зрачком. Световые лучи, исходящие из определенной точки объекта и участвующие в формировании изображения, образуют конус, вершина которого совпадает с этой точкой объекта,

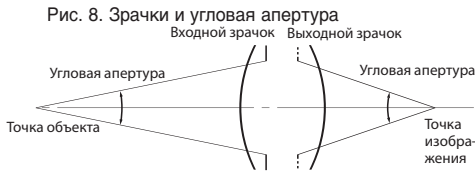


Рис. 8. Зрачки и угловая апертура

а основание - с входным зрачком. Световые лучи, выходящие из объектива с другой стороны, образуют конус, основание которого совпадает с выходным зрачком, а вершина лежит в плоскости изображения. Форма входного и выходного зрачков соответствует фактической форме диафрагмы, а их размеры прямо пропорциональны размеру диафрагмы; поэтому даже в том случае, если конструкция системы линз неизвестна, но известно положение входного и выходного зрачков и их размеры, можно графически изобразить ход световых лучей, участвующих в формировании изображения. Таким образом, информация о входном и выходном зрачках необходима при анализе факторов, влияющих на качество изображения, таких как общее количество света, входящего в объектив, характер размывания изображения и абберации.

### Угловая апертура

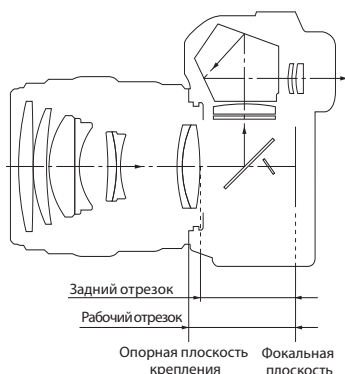
Угол, под которым из точки объекта на оптической оси виден входной зрачок, или угол, под которым из точки изображения на оптической оси виден выходной зрачок.

### Рабочий отрезок и задний отрезок

#### Рабочий отрезок

Расстояние от опорной плоскости крепления объектива на фотокамере до фокальной плоскости (плоскости пленки). В системе EOS на всех камерах установлен рабочий отрезок установлен равным 44,00 мм. Рабочий отрезок иногда также называют задним фокусом.

Рис. 9. Рабочий отрезок и задний отрезок



### Задний отрезок

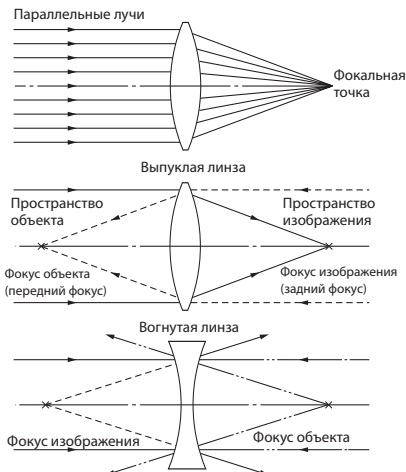
Расстояние от вершины самой задней поверхности стекла до фокальной плоскости при фокусировке объектива на бесконечно удаленной точке называется задним отрезком. В зеркальных камерах, в которых перед экспозицией поднимается зеркало, невозможно использовать широкоугольный объектив с коротким задним отрезком, поскольку он препятствовал бы движению объектива. В широкоугольных объективах для зеркальных камер, как правило, предусмотрена ретрофокусная конструкция, обеспечивающая достаточную длину заднего отрезка. В цифровых зеркальных камерах, совместимых с объективами EF-S, быстродействующее зеркало имеет компактные размеры, позволяющие устанавливать специализированные объективы EF-S 60mm f/2.8 Macro USM, EF-S 10-22mm f/3.5-4.5 USM, EF-S 17-55mm f/2.8 IS USM и EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 II USM; эти объективы характеризуются более коротким задним отрезком по сравнению с другими объективами EF.

### Фокус и фокусное расстояние

#### Фокальная точка, фокус

Все световые лучи, входящие в идеальную выпуклую линзу параллельно оптической оси, сходятся в одной точке, а затем расходятся в виде конуса. Точка, в которой сходятся все лучи, называется фокусом. Хорошо известным примером служит фокусирование солнечных лучей в кружок на листе бумаги или другой поверхности при помощи увеличительного стекла; точка, в которой достигается наименьший размер кружка, является фокусом. В оптической терминологии принята следующая классификация фокусов: точка с задней стороны объектива, в которой сходятся исходящие от объекта световые лучи, называется задним фокусом. Точка с передней стороны объектива, в которой сходятся световые

Рис. 10. Фокус (отдельной линзы)

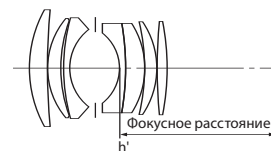


лучи, исходящие с фокальной плоскости и входящие в объектив параллельно оптической оси, называется передним фокусом.

### Фокусное расстояние

Расстояние вдоль оптической оси от второй главной точки объектива (задней узловой точки) до фокуса при вхождении в объектив параллельного пучка лучей параллельно оптической оси называется фокусным расстоянием. Проще говоря, фокусное расстояние - это расстояние вдоль оптической оси от второй главной точки объектива до фокальной плоскости при фокусировке объектива на бесконечно удаленной точке.

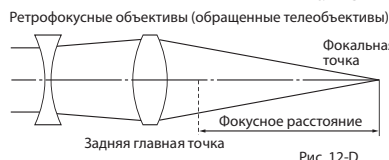
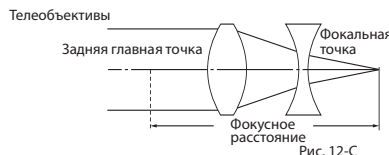
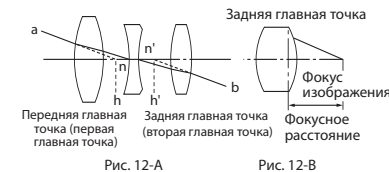
Рис. 11. Фокусное расстояние реального фотографического объектива



### Главная точка

Фокусное расстояние простой двояковыпуклой тонкой линзы равно расстоянию вдоль оптической оси от центра линзы до ее фокуса. В этом случае центр линзы называется главной точкой. Однако местоположение центра реального фотографического объектива не столь очевидно, так как он состоит из нескольких выпуклых и вогнутых линз. Поэтому главная точка многолинзового объектива определяется как точка, расположенная на оптической оси с той же стороны от фокуса, что и объектив, и на расстоянии от фокуса, равном фокусному расстоянию. Главная точка, определяемая через передний фокус, называется передней главной точкой, а главная точка, определяемая через задний фокус - задней главной точкой. Расстояние между двумя главными точками называется интервалом главных точек.

Рис. 12. Главная точка



### Передняя главная точка/задняя главная точка

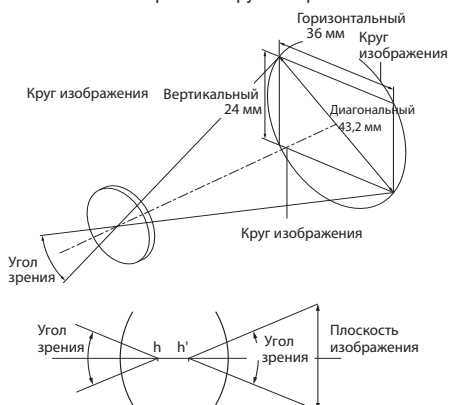
Луч света, поступающий в объектив из точки *a* на рис. 12-А, преломляется, проходит через точки *n* и *n'* и поступает в точку *b*. При этом на участках *a-n* и *n'-b* формируются подобные углы; точки пересечения сторон этих углов с оптической осью обозначаются *h* и *h'*. Эти точки *h* и *h'* являются главными точками, определяющими положение объектива относительно объекта и изображения. Точка *h* называется передней главной точкой (или первой главной точкой), а точка *h'* - задней главной точкой (или второй главной точкой). В обычных фотографических объективах расстояние от точки *h'* до фокуса равно фокусному расстоянию. В зависимости от типа объектива возможна ситуация, когда относительное положение передней и задней главных точек обращено или точка *h'* расположена за пределами конструкции объектива; однако в любом случае расстояние задней главной точки *h'* до фокуса равно фокусному расстоянию.

\*В случае телеобъектива задняя главная точка *h'* фактически находится спереди от самой передней линзы, а в случае ретрофокусного объектива - сзади от самой задней линзы.

### Круг изображения

Резкий участок круглого изображения, формируемого объективом. Для сменных объективов, используемых в камерах формата 35 мм, диаметр круга изображения должен быть не меньше диагонали области изображения 24x36 мм. Поэтому для объективов EF диаметр круга изображения, как правило, составляет приблизительно 43,2 мм. Объективы TS-E обеспечивают больший круг изображения, позволяющий учитывать наклоны и сдвиги объектива, - 58,6 мм. Объективы EF-S характеризуются меньшим кругом изображения по сравнению с другими объективами EF, этот круг изображения соответствует диагонали датчика изображения формата APS-C в цифровых зеркальных камерах, совместимых с объективами EF-S.

Рис. 13. Угол зрения и круг изображения



### Угол зрения

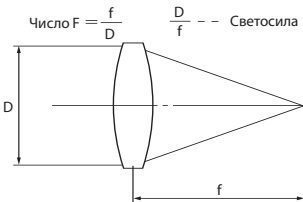
Угол, соответствующий области сцены, которая может быть воспроизведена объективом в виде резкого изображения. Номинальный диагональный угол зрения определяется как угол между воображаемыми прямыми, соединяющими вторую главную точку с каждым из концов диагонали изображения (43,2 мм). Характеристики объективов EF, как правило, помимо диагонального угла зрения включают в себя горизонтальный (36 мм) и вертикальный (24 мм) углы зрения.

### Термины, связанные с яркостью объектива

#### Светосила

Значение, выражающее яркость изображения и равное отношению эффективной апертуры объектива (*D*) к его фокусному расстоянию (*f*). Поскольку вычисленное отношение *D/f* почти всегда является десятичной дробью, меньшей единицы, его неудобно использовать практически, поэтому на тубусе объектива светосила обычно указана в виде отношения эффективной апертуры к фокусному расстоянию, где эффективная апертура принята равной 1. (Например, на тубусе объектива EF 85mm *f*/1.2L II USM отпечатано значение 1 : 1,2, указывающее на то, что фокусное расстояние в 1,2 раза больше эффективной апертуры, которая принята равной 1.) Яркость изображения, воспроизводимого объективом, пропорциональна квадрату светосилы. Как правило, яркость объектива выражается числом *F* - величиной, обратной светосиле (*f/D*). Число *F*

Рис. 14. Яркость объектива



#### Число F

Поскольку светосила (*D/f*) почти всегда является десятичной дробью, меньшей единицы, ее неудобно использовать практически, поэтому из соображений удобства яркость объектива часто выражается величиной, обратной светосиле (*f/D*); эта величина называется числом *F*. Таким образом, яркость изображения обратно пропорциональна квадрату числа *F*, т.е. с увеличением числа *F* изображение становится более темным. Числовые значения *F* образуют геометрическую

прогрессию с начальным членом 1 и знаменателем  $\sqrt{2}$ : 1,0; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 16; 22; 32 и т.д. (Однако во многих случаях значение, соответствующее максимальной апертуре, отклоняется от этой последовательности.) Значения в этой последовательности, которые на первый взгляд трудно запомнить, близки к фактическим значениям *FD*, соответствующим диаметру (*D*) диафрагмы при последовательном уменьшении количества проходящего через объектив света наполовину. Таким образом, при изменении числа *F* от 1,4 до 2 яркость изображения уменьшается вдвое, а при его изменении от 2 до 1,4 - увеличивается вдвое. (Такое изменение этой величины обычно называют изменением «на одну ступень».) В современных фотокамерах с электронными дисплеями допускаются дробные изменения - на 1/2 или даже на 1/3 ступени.

#### Числовая апертура (NA)

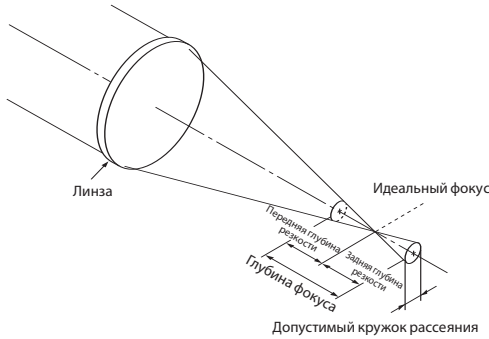
Значение, выражающее яркость или разрешение оптической системы объектива. Числовая апертура, обычно обозначаемая *NA*, - это числовая величина, вычисляемая по формуле  $n \sin \theta$ , где  $2\theta$  - величина угла (угловая апертура), под которым из точки объекта на оптической оси виден входной зрачок, а *n* - показатель преломления среды, в которой находится объект. Значение *NA* редко используется для фотографических объективов, но обычно отпечатывается на объективах микроскопов, где оно в большей степени служит для выражения разрешения, а не яркости. Полезно знать следующее соотношение: величина *NA* равна половине величины, обратной к числу *F*. Например, при *F* = 1,0 *NA* = 0,5; при *F* = 1,4 *NA* = 0,357; при *F* = 2 *NA* = 0,25 и т.д.

### Фокус и глубина резкости

#### Фокус, фокальная точка

Фокус - это точка, в которой сходятся исходящие от бесконечно удаленного объекта параллельные лучи после прохождения через объектив. Плоскость, содержащая фокус и перпендикулярная оптической оси, называется фокальной плоскостью. В этой плоскости изображение является резким (как принято говорить, «в фокусе»), поэтому пленка или датчик изображения располагается в фотокамере именно в фокальной плоскости. Обычные фотографические объективы, состоящие из нескольких линз, позволяют настроить фокус таким образом, что световые лучи от объектов, расположенных на конечном расстоянии, сходятся в одной из точек фокальной плоскости.

Рис. 15. Взаимосвязь идеального фокуса, допустимого кружка рассеяния и глубины резкости



### Кружок рассеяния

Определенная степень сферической аберрации и астигматизма, свойственная всем объективам, обуславливает невозможность идеального схождения лучей, исходящих из точки объекта, в геометрической точке изображения (т.е. в бесконечно малой точке, имеющей нулевую площадь). Другими словами, изображения представляют собой композицию реальных (не геометрических) точек, имеющих определенную площадь (определенные размеры). Поскольку при увеличении размеров этих точек изображение становится менее резким, они называются «кружками рассеяния». Поэтому одним из показателей качества объектива служит минимальная точка, которая может быть сформирована этим объективом - «минимальный кружок рассеяния». Максимально допустимый размер точки в изображении называется «допустимым кружком рассеяния».

### Допустимый кружок рассеяния

Наибольший кружок рассеяния, воспринимаемый на изображении как «точка». Воспринимаемая человеческим глазом резкость изображения зависит в первую очередь от фактической резкости изображения и от «разрешающей способности» зрительной системы человека. В фотографии на резкость изображения влияют также коэффициент увеличения изображения (или расстояние проецирования) и расстояние от изображения до наблюдателя. Таким образом, для практических целей можно определить «допуски» для формирования изображений, которые фактически являются в некоторой степени размытыми, но воспринимаются наблюдателем как резкие. Для зеркальных камер формата 35 мм допустимый кружок рассеяния составляет приблизительно 1/1000-1/1500 длины диагонали пленки при формате отпечатка 5x7 дюймов (12x16,5 см) и расстоянии обзора 25-30 см/0,8-1 фут. Конструкция объективов EF обеспечивает минимальный кружок рассеяния диаметром 0,035 мм; это значение используется при расчете различных параметров, в частности, глубины резкости.

### Глубина резкости

Область спереди и сзади от объекта, в которой фотографическое изображение выглядит резким при условии фокусировки на данном объекте. Другими словами - область резкости спереди и сзади от объекта, в которой размытость изображения не выходит за пределы, определяемые допустимым кружком рассеяния. Глубина резкости зависит от фокусного расстояния объектива, значения апертуры и съёмочного расстояния; если эти значения известны, можно приблизительно оценить глубину резкости по следующим формулам.

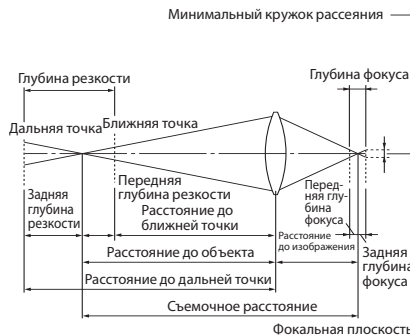
Передняя глубина резкости =  $dF \cdot a^2 / (f^2 + dFa)$   
 Задняя глубина резкости =  $dF \cdot a^2 / (f^2 - dFa)$   
 f - фокусное расстояние; F - число F;  
 d - диаметр минимального кружка рассеяния  
 a - расстояние до объекта (от первой главной точки)

Предельное расстояние до ближней точки	=	гиперфокальное расстояние × съёмочное расстояние
	=	гиперфокальное расстояние + съёмочное расстояние
Предельное расстояние до дальней точки	=	гиперфокальное расстояние × съёмочное расстояние
	=	гиперфокальное расстояние - съёмочное расстояние
<small>(Съёмочное расстояние - расстояние от фокальной плоскости до объекта)</small>		

Если известно гиперфокальное расстояние, можно также воспользоваться следующими формулами. В общей фотографии глубина резкости характеризуется следующими свойствами.

- 1) Глубина резкости возрастает при уменьшении фокусного расстояния и убывает при увеличении фокусного расстояния.
- 2) Глубина резкости возрастает при уменьшении апертуры и убывает при увеличении апертуры.
- 3) Глубина резкости возрастает при увеличении съёмочного расстояния и убывает при уменьшении съёмочного расстояния.
- 4) Передняя глубина резкости меньше задней глубины резкости.

Рис. 16. Глубина резкости и глубина фокуса

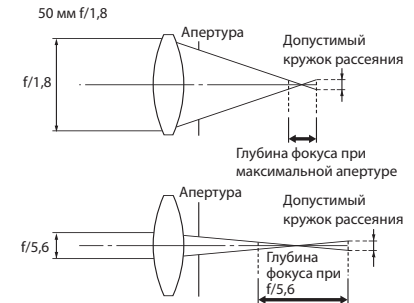


### Глубина фокуса

Область спереди и сзади от фокальной плоскости, в которой при фотографировании можно получить резкое изображение. Глубина фокуса одинакова с обеих сторон плоскости изображения (фокальной плоскости), не зависит от фокусного расстояния объектива и равна

произведению минимального кружка рассеяния на число F. В современных зеркальных камерах с автоматическим наведением на резкость фокусировка осуществляется путем определения состояния фокуса в плоскости изображения (фокальной плоскости) с помощью оптически эквивалентного датчика (с коэффициентом увеличения 1:1), расположенного вне фокальной плоскости, и автоматического управления объективом, обеспечивающего локализацию изображения объекта в области глубины фокуса.

Рис. 17. Взаимосвязь между глубиной фокуса и апертурой



### Гиперфокальное расстояние

Исходя из концепции глубины резкости, по мере фокусировки объектива на все более удаленных объектах наступает момент, когда дальняя граница глубины резкости совпадает с «бесконечно удаленной точкой». Съёмочное расстояние, измеренное в этот момент, т.е. наименьшее съёмочное расстояние, при котором «бесконечно удаленная точка» находится в пределах глубины резкости, называется гиперфокальным расстоянием. Гиперфокальное расстояние можно определить следующим образом.

$$\text{Гиперфокальное расстояние} = \frac{f^2}{d \cdot \text{число } F}$$

f - фокусное расстояние; F - число F  
 d - минимальный кружок рассеяния диаметра

Таким образом, при настройке объектива на гиперфокальное расстояние ближняя граница глубины резкости находится на расстоянии, равном половине гиперфокального расстояния, а дальняя - в бесконечно удаленной точке. Этот способ позволяет задать большую глубину резкости, при которой не требуется фокусировка объектива, что особенно удобно при работе с широкоугольными объективами.

Фото 1. Настройка на гиперфокальное расстояние  
 (Например, если для объектива EF 20mm f/2.8 USM настроить значение f/16 и задать съёмочное расстояние, равное гиперфокальному расстоянию, - приблизительно 0,7 м/2,3 фута, изображение объекта получится резким в том случае, если расстояние от этого объекта до камеры находится в диапазоне от приблизительно 0,4 м/1,3 фута до бесконечности.)



## Аберрация объектива

### Аберрация

Изображение, сформированное идеальным фотографическим объективом, обладало бы следующими характеристиками.

- 1) Образом точки была бы точка.
- 2) Образом плоскости (например, стены), перпендикулярной к оптической оси, была бы плоскость.
- 3) Сформированное изображение имело бы в точности ту же форму, что и объект съемки.

Для выразительности изображения важно также то обстоятельство, что такой объектив обеспечивал бы точную цветопередачу. Если в формировании изображения участвуют только световые лучи, входящие в объектив вблизи оптической оси, а свет является монохроматическим (одной конкретной длины волны), можно реализовать характеристики объектива, практически не отличающиеся от идеальных. Однако при работе с реальными фотографическими объективами, когда для получения достаточной яркости установлено большое значение апертуры и в объектив поступает свет от всех участков изображения (а не только от расположенных вблизи оптической оси), добиться указанных выше условий очень трудно в связи со следующими препятствиями.

● Поскольку большинство объективов состоит исключительно из линз со сферическими поверхностями, изображение, сформированное световыми лучами из одной точки объекта, не является идеальной точкой. (Это неустраиваемая особенность сферических поверхностей.)

● Положение фокуса зависит от типа светового излучения (т.е. от длины волны).

● Дополнительные требования возникают в связи с изменением угла зрения (особенно в широкоугольных объективах, зум-объективах и телеобъективах).

Различие между идеальным и фактическим изображениями, обусловленное указанными выше факторами, обозначается общим термином «аберрация». Таким образом, при конструировании высококачественных объективов конечной целью является минимизация аберрации, т.е. получение изображения, максимально приближенного к идеальному. Явление аберрации подразделяется на два обширных класса - хроматическая аберрация и монохроматическая аберрация → Хроматическая аберрация → Пять видов аберрации Зейделя

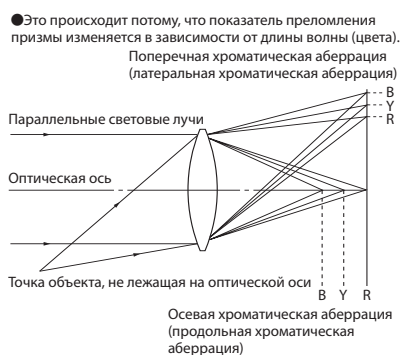
Табл. 1. Аберрации в линзах

Аберрации, наблюдаемые в непрерывном спектре	
■ Хроматические аберрации	
● Осевая хроматическая аберрация (продольная хроматическая аберрация)	
● Поперечная хроматическая аберрация (латеральная хроматическая аберрация)	
Аберрации, наблюдаемые для конкретных длин волн	
■ Пять видов аберрации Зейделя	
1 Сферическая аберрация	
2 Хроматическая аберрация	
3 Астигматизм	
4 Кривизна поля	
5 Дисторсия	

### Хроматическая аберрация

При прохождении через призму белого света (свет воспринимается как белый в том случае, если входящие в его состав различные цвета равномерно перемешаны и поэтому не различаются глазом), например солнечного света, наблюдается спектр радуги. Это явление обусловлено тем, что показатель преломления призмы (и степень дисперсии) зависит от длины волны (короткие волны преломляются сильнее, чем длинные). Хотя это явление наиболее заметно в призме, оно возникает также в фотографических объективах; поскольку оно связано с различием длин волн, его называют хроматической аберрацией. Существует два типа хроматической аберрации: «осевая хроматическая аберрация», при которой положение фокуса на оптической оси зависит от длины волны, и «хроматическая разность увеличения», при которой увеличение изображения в периферийной области зависит от длины волны. На фотографиях осевая хроматическая аберрация проявляется в виде размывания цветов и цветных бликов, а хроматическая разность увеличения - в виде цветной окантовки (цветные полосы по краям). Хроматическая аберрация в фотографическом объективе исправляется путем сочетания различных типов оптического стекла с разными характеристиками преломления и дисперсии. Поскольку с увеличением фокусного расстояния действие хроматической аберрации усиливается, точная коррекция хроматической аберрации для получения изображения высокой резкости особенно важна в супертелеобъективах. При использовании оптического стекла возможная степень точности коррекции ограничена; однако с помощью кристаллов ручной работы, например, флюорита или стекла UD, можно добиться существенного повышения качества изображения. Осевая хроматическая аберрация называется также «продольной хроматической аберрацией» (так как она характеризуется продольной ориентацией относительно оптической оси), а хроматическая разность увеличения - «поперечной хроматической аберрацией» (характеризуется поперечной ориентацией относительно оптической оси).

Рис. 18. Хроматическая аберрация



Примечание. Хотя хроматическая аберрация наиболее заметна при съемке на цветную пленку, она влияет и на черно-белые изображения, проявляясь в виде снижения резкости.

### Ахроматический объектив

Объектив, исправляющий аберрацию для света двух длин волн. При рассмотрении фотографических объективов предполагается, что эти длины волн относятся к желтому и сине-фиолетовому диапазонам.

### Апохроматический объектив

Объектив, исправляющий хроматическую аберрацию для света трех длин волн; значительное сокращение аберрации достигается главным образом в дополнительном спектре. Примерами апохроматических объективов являются супертелеобъективы EF.

### Пять видов аберрации Зейделя

В 1856 г. немецкий ученый Зейдель, проанализировав аберрацию монохроматического света (одной длины волны) в объективе, обнаружил пять видов аберрации. Эти виды аберрации, описание которых приведено ниже, известны как пять видов аберрации Зейделя.

#### 1 Сферическая аберрация

Определенная степень этой аберрации наблюдается во всех объективах, состоящих исключительно из сферических элементов. Сферическая аберрация заключается в том, что параллельные световые лучи, проходящие вблизи края объектива, сходятся в фокусе ближе к объективу по сравнению со световыми лучами, проходящими через центр объектива. (Величина сдвига фокуса вдоль оптической оси называется продольной сферической аберрацией.) В объективах с большой апертурой степень сферической аберрации, как правило, выше. При наличии сферической аберрации световые лучи, проходящие вблизи оптической оси, формируют резкое изображение точки; однако вклад периферийных световых лучей приводит к образованию блика (этот блик называется также ореолом, а его радиус - поперечной сферической аберрацией). Таким образом, сферическая аберрация влияет на всю область изображения - от

Рис. 19. Сферическая аберрация

● Это явление связано с тем, что фокус не сконцентрирован на одной точке светового луча, а смещен вперед или назад.

Образование ореола — Изображение с бликом.

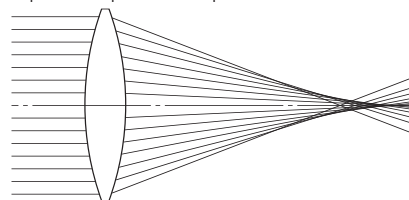
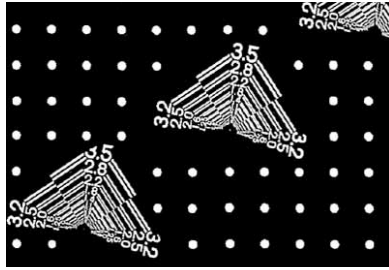
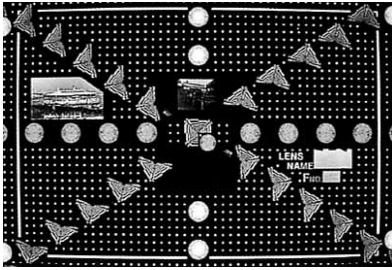
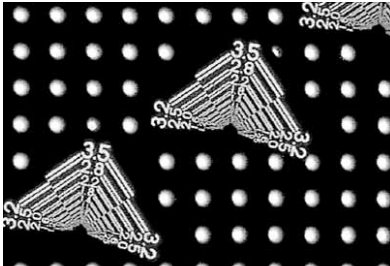


Фото 2. На этих фотографиях в увеличенном масштабе показаны объект и окружающая область с фрагмента тестовой диаграммы, сфотографированной на пленку с форматом кадра 24x36 мм и отпечатанной на фотобумаге в четверть стандартного формата. Сформированное изображение близко к идеальному

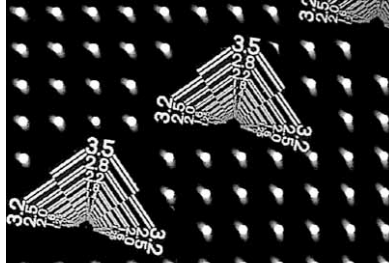


Периферийный  участок (увеличено)

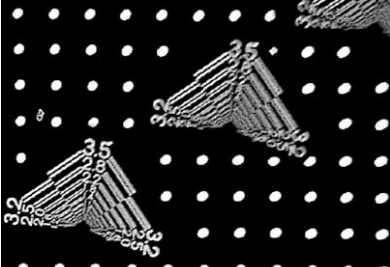
① Пример сферической aberrации



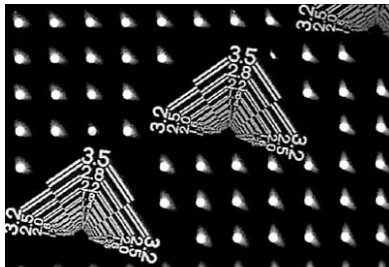
②-1 Пример комы, обращенной к центру



③ Пример астигматизма



②-2 Пример комы, обращенной к периферии



центра до краев; полученное изображение характеризуется низкой контрастностью и выглядит как покрытое тонкой вуалью. Коррекция сферической aberrации в сферических объективах - очень трудная задача. Как правило, для этого применяется комбинация двух линз (выпуклой и вогнутой), которая рассчитывается для определенной высоты падения световых лучей (расстояния от оптической оси); однако для сферических объективов возможная степень коррекции ограничена, так что некоторая степень aberrации всегда сохраняется. Эту сохраняющуюся aberrацию можно в значительной степени устранить путем уменьшения диафрагмы для сокращения количества периферийного света. Для объективов с большой апертурой единственным способом добиться полной компенсации сферической aberrации при максимальном значении апертуры является использование асферической линзы. → Асферическая линза

### ② Кома, aberrационная кома

Кома, или aberrационная кома, наблюдается рна периферии изображения, сформированного объективом, для которого исправлена сферическая aberrация;

это явление заключается в том, что световые лучи, входящие в объектив вблизи его края под углом, сходятся не в точке, а в области, имеющей форму кометы (отсюда в название). Кома ориентирована радиально; ее хвост может быть направлен к центру или от центра изображения. Смазывание изображения вблизи краев в результате комы называется пятном комы. Кома, которая может наблюдаться даже в объективах, способных правильно воспроизводить точку в виде точки на оптической оси, объясняется тем, что световые лучи из одной и той же точки, не лежащей на оптической оси, преломляются по-разному в зависимости от того, проходят ли они через края объектива или через его центр

Рис. 20. Кома

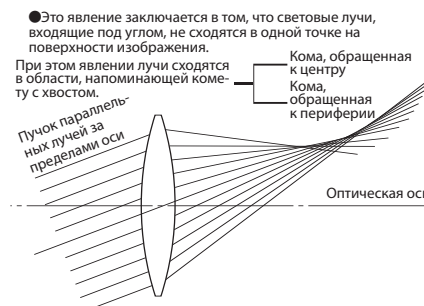


Фото 3. Осевая хроматическая aberrация

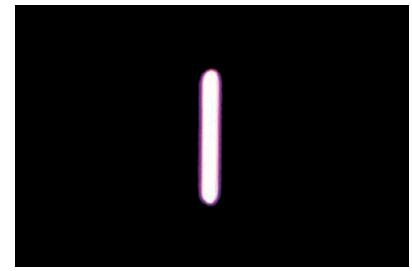
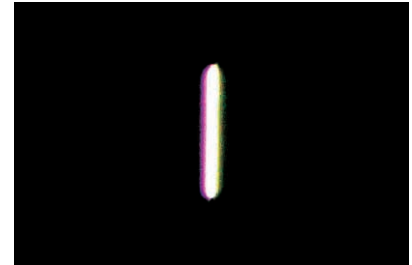


Фото 4. Поперечная хроматическая aberrация

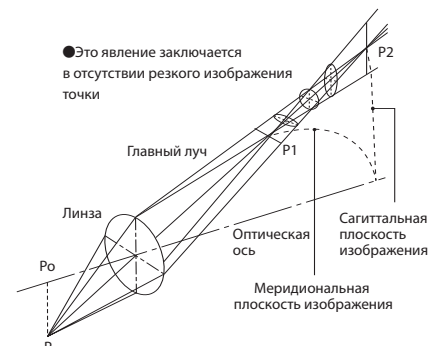


(главный световой луч). Кома усиливается с увеличением угла, под которым главный луч входит в объектив, и приводит к уменьшению контрастности вблизи краев изображения. До некоторой степени можно ослабить действие комы путем уменьшения диафрагмы объектива. Кома может также приводит к образованию бликов в смазанных областях изображения, что ухудшает общее впечатление от фотографии. Одновременное устранение сферической aberrации и комы для определенного съемочного расстояния называется апланатизмом, а объектив, обеспечивающий такое устранение - апланатическим.

### ③ Астигматизм

Если для объектива исправлены сферическая aberrация и кома, точка объекта, расположенная на оптической оси, правильно воспроизводится в виде точки изображения; однако точка объекта, не лежащая на оси, воспроизводится на изображении не в виде точки, а в виде эллипса или линии. Такой тип aberrации называется астигматизмом; это явление можно наблюдать вблизи краев изображения, слегка перемещая фокус объектива в положение, в котором точка

Рис. 21. Астигматизм





объекта воспроизводится в виде резкой линии, ориентированной вдоль радиуса изображения, а затем снова в другое положение.

#### ④ Кривизна поля

Это явление заключается в том, что при фокусировке на плоской поверхности изображение не является плоским, а искривлено в виде внутренней поверхности чаши. Поэтому при фокусировке на центральном участке кадра края получаются размытыми, и наоборот, при фокусировке на периферийном участке размытым получается центр. Такое искривление изображения изменяется главным образом при коррекции астигматизма, в процессе которой создается изображение между сагиттальным и меридиональным изображениями; таким образом, чем выше степень коррекции астигматизма, тем меньше становится изображение. Поскольку уменьшение диафрагмы практически не оказывает исправляющего воздействия, различные способы коррекции, в частности, изменение формы отдельных линз, входящих в структуру объектива, и выбор положения апертуры, применяются на

Рис. 22. Кривизна поля

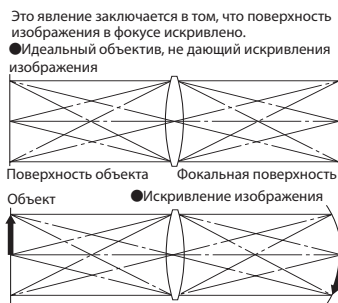
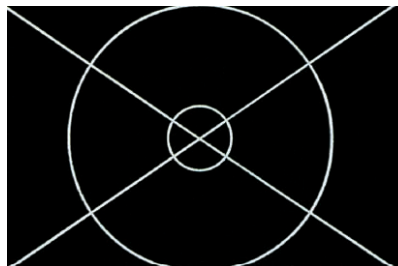
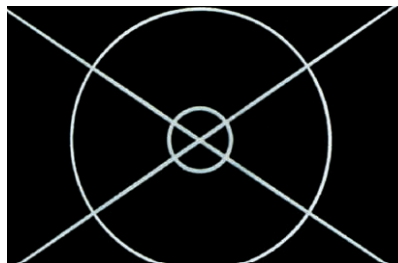


Фото 5. Пример кривизны поля



При фокусировке на центре экрана углы оказываются не в фокусе.

Фото 6. Пример кривизны поля



При фокусировке на углах экрана центр оказывается не в фокусе.

этапе конструирования объектива; однако одним из обязательных требований для одновременной коррекции астигматизма и искривления изображения является условие Петцваля (1843). Это условие заключается в том, что сумма обратных величин к произведениям показателей преломления отдельных линз на их фокусное расстояние, вычисленная по всем линзам в системе линз, должна быть равна 0. Эта сумма называется суммой Петцваля.

#### ⑤ Дисторсия

Одной из характеристик идеального объектива является подобие форм объекта и изображения, формируемого объективом; отклонение от этой характеристики, выражающееся в изгибании прямых линий, называется дисторсией. Растягивание формы в направлении диагонального угла зрения (+) называется подушкообразной дисторсией; сжатие формы в этом направлении (-) называется бочкообразной дисторсией. При работе с ультраширокоугольными объективами одновременное существование этих видов дисторсии наблюдается редко. Такое явление, как правило, не возникает в объективах, в которых конфигурация относительного положения линз строится на основе границы

Рис. 23. Дисторсия

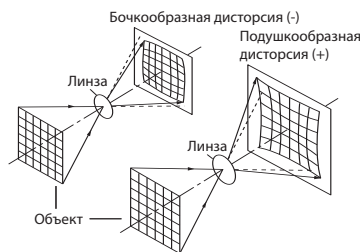
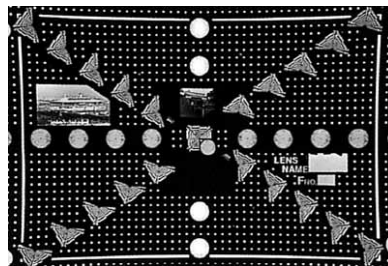
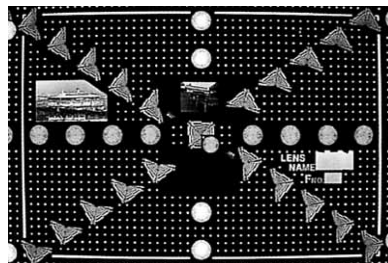


Фото 7. Пример дисторсии



+\* Подушкообразная дисторсия

Фото 8. Пример дисторсии



-\* Бочкообразная дисторсия

диафрагмы, но часто возникает в объективах асимметричного типа. Типичные зум-объективы, как правило, характеризуются бочкообразной дисторсией при малых значениях фокусного расстояния и подушкообразной дисторсией при больших значениях (в процессе зумирования характеристики дисторсии несколько изменяются); высокая степень коррекции достигается в том случае, если в состав зум-объектива входит асферическая линза (такие линзы эффективно устраняют дисторсию). Это различие обусловлено различием в преломлении главных лучей, проходящих через центр объектива, поэтому его невозможно устранить путем уменьшения апертуры.

#### Меридиональная плоскость

Плоскость, в которой лежат главный луч, исходящий из точки за пределами оптической оси, и оптическая ось, называется меридиональной плоскостью. Позиция, связанная с фокусом посредством светового луча, входящего через объектив данной формы, называется меридиональной плоскостью изображения. В этой плоскости изображения достигается наилучшее изображение концентрических окружностей в кадре. Если сравнить сферическую поверхность линзы с участком земной поверхности, а оптическую ось - с осью Земли, меридиональная плоскость будет соответствовать плоскости, в которой лежит земной меридиан; этим объясняется ее название. Кривая, отражающая характеристики этой плоскости изображения на диаграмме характеристик MTF (частотно-контрастная характеристика), часто обозначается буквой «M».

#### Сагиттальная плоскость

Плоскость, перпендикулярная меридиональной плоскости, называется сагиттальной; в этой плоскости изображения достигается наилучшее изображение радиусов. Термин «сагиттальный» происходит от греческого слова, означающего стрелу. Это название объясняется радиальной формой распространения фокуса. Позиция, связанная с фокусом светового луча, проходящего через объектив, называется сагиттальной плоскостью изображения; кривая, отражающая характеристики этой плоскости изображения на диаграмме характеристик MTF (частотно-контрастная характеристика), часто обозначается буквой «S».

#### Пояснения к диаграммам дисторсии

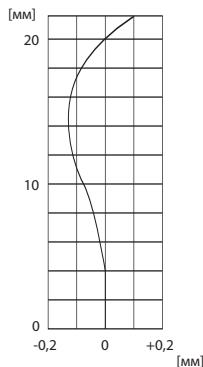
Ниже приведены указания по считыванию информации с диаграмм дисторсии, которые содержатся в статьях о результатах испытаний фотокамер в специализированных изданиях.

#### ● Диаграмма характеристик сферической дисторсии (диаграмма 1)

По вертикальной оси диаграммы откладывается высота точки входа над осью системы линз (расстояние от центра кадра вдоль диагонали), а по горизонтальной оси - смещение точки

изображения, измеренное по форме поверхности пленки. Единица измерения - мм. Знак "—" (минус) на горизонтальной оси соответствует направлению вперед, а знак "+" (плюс) - направлению назад. В случае идеального объектива график представлял бы собой прямую линию, проходящую через нулевую точку горизонтальной оси параллельно оси высоты точки входа. Кривая на диаграмме отражает различие между идеальным и реальным объективами. Коррекция сферической дисторсии считается удовлетворительной, если в изображении существует центральная часть, а при уменьшении диафрагмы объектива фокус перемещается незначительно; в данном случае средним значениям высоты точки входа соответствует недостаточная коррекция, а максимальному значению - практически полная коррекция (смещение приближается к нулю).

Рис. 24. Диаграмма характеристик сферического искажения (диаграмма 1)



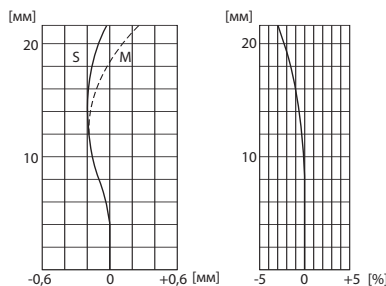
### ● Кривая астигматизма (диаграмма 2)

По вертикальной оси диаграммы откладывается осевая высота падения (расстояние от центра изображения) луча, входящего в систему линз, а по горизонтальной оси - величина сдвига точки изображения, сформированной в фокальной плоскости. Используются те же единицы измерения и знаки, что и для кривой сферической aberrации. В случае идеального объектива график представлял бы собой прямую линию, проходящую через нулевую точку горизонтальной оси параллельно оси высоты падения. Различие между идеальным и реальным объективами описывается двумя кривыми, одна из которых соответствует направлению S (сагиттальная плоскость/радиальное направление), а другая - направлению M (меридиональная плоскость/направление концентрических окружностей). При значительном различии между кривыми S и M (астигматическая разность) формирования точки не происходит, и изображение смазывается. Изображение спереди и сзади от плоскости формирования изображения смазано и выглядит неестественным.

### ● Кривая дисторсии (диаграмма 3)

По вертикальной оси диаграммы откладывается осевая высота падения (расстояние от центра изображения) луча, входящего в систему линз, а по горизонтальной оси - дисторсия в процентах (%). Кривая показывает различие между идеальным изображением и изображением, фактически сформированным в фокальной плоскости. Знак «минус» указывает на отрицательную, или бочкообразную, дисторсию, при которой длина диагонали реального изображения меньше длины диагонали идеального изображения. Знак «плюс» указывает на положительную, или подушкообразную, дисторсию. В случае идеального объектива дисторсия составляла бы  $\pm 0\%$  при любой высоте объекта. Кривые дисторсии для зум-объективов, как правило, указывают на бочкообразную дисторсию в положениях, соответствующих широкоугольным объективам, и подушкообразную дисторсию в положениях, соответствующих телеобъективам.

Рис. 25 Кривая астигматизма (диаграмма 2) Кривая дисторсии (диаграмма 3)



### Минимизация воздействия aberrации

При конструировании современных объективов выполняются сложные вычисления и моделирование высокого уровня на больших вычислительных машинах, что позволяет свести к минимуму aberrацию всех типов и добиться высокого качества формирования изображений. Однако даже эта технология не позволяет полностью устранить все виды aberrации, поэтому все представленные на рынке объективы характеризуются некоторой степенью aberrации. Эта aberrация называется остаточной aberrацией. Тип

Табл. 2. Взаимосвязь между апертурой и aberrацией

Причина снижения качества изображения	Области на экране, подверженные искажению	Улучшение за счет уменьшения апертуры
Осевая хроматическая aberrация	Центр и края	Слабый эффект
Хроматическая aberrация увеличения	Края	Эффект отсутствует
Сферическая aberrация	Центр и края	Эффект присутствует
Кома	Края	Эффект присутствует
Астигматизм	Края	Слабый эффект
Кривизна поля	Края	Слабый эффект
Дисторсия	Края	Эффект отсутствует
Образование ореолов/бликов	Центр и края	Эффект отсутствует
Падение периферийной освещенности	Края	Эффект присутствует

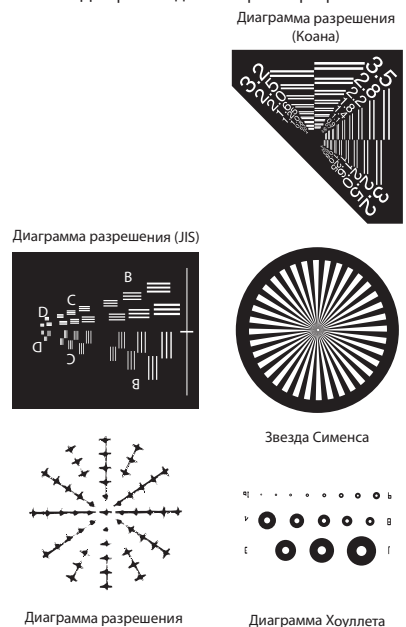
остаточной aberrации объектива является основным фактором, определяющим характеристики воспроизведения изображений этим объективом, в частности, резкость и эффект размывания. Поэтому при конструировании современных объективов во многих случаях эффект размывания создается преднамеренно (характеристики изображения за пределами плоскости формирования изображения); для этого на этапе конструирования выполняется анализ работы объектива с применением компьютерного моделирования. Как указано выше при описании различных видов aberrации, воздействие некоторых (но не всех) видов aberrации можно ослабить путем уменьшения диафрагмы объектива. Влияние апертуры на различные виды aberrации показано в табл. 2.

### Оценка рабочих характеристик объектива

#### Разрешающая способность/ разрешение

Разрешение объектива характеризует его способность к воспроизведению точки объекта. На разрешение отпечатанной фотографии влияют три фактора:

Рис. 26. Диаграммы для измерения разрешения



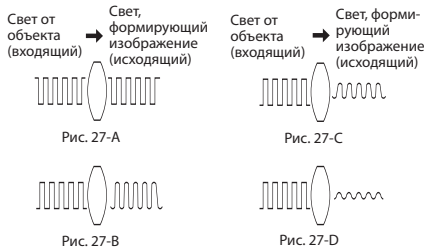
разрешение объектива, разрешение пленки или датчика изображений, разрешение принтера или фотобумаги. Разрешение оценивается следующим образом: при заданном увеличении фотографируется диаграмма, состоящая из групп белых и черных полос, которые постепенно становятся все более узкими, а затем полученное негативное изображение рассматривается в микроскоп с 50-кратным увеличением.

Разрешение обычно выражается числовым значением, например 50 линий или 100 линий. Это значение соответствует количеству линий на 1 мм на участке рисунка, состоящем из наиболее узких белых и черных полос, которые отчетливо различаются на пленке. Для определения разрешения отдельной линзы используется следующий способ: тестовая диаграмма для определения разрешения размещается в фокальной плоскости и проецируется на экран через тестируемую линзу. Числовое значение разрешающей способности указывает только максимально возможную степень разрешения; оно не позволяет определить четкость разрешения и контрастность.

### Контрастность

Степень различия между участками фотографии с разным уровнем яркости, т.е. степень различия между светлыми

Рис. 27. Принципиальная схема формирования контрастности



Изображение, воспроизводящее контрастность

Диаграмма

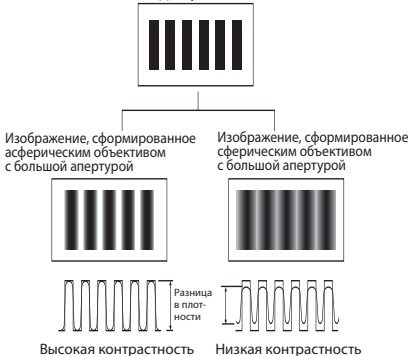
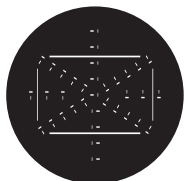


Рис. 27-E Шелевая диаграмма измерения MTF (частотно-контрастная характеристика)



и темными участками. Если различия между черными и белыми участками воспроизводятся отчетливо, контрастность считается высокой; в противном случае - низкой. Как правило, объективы, формирующие высококачественные изображения, характеризуются высоким разрешением и высокой контрастностью.

### MTF (modulation transfer function/ частотно-контрастная характеристика)

Частотно-контрастная характеристика - это способ оценки работы объектива, заключающийся в определении контрастности при воспроизведении, или резкости. Одним из важнейших критериев оценки электрических характеристик аудиосистем является частотная характеристика. При записи звука источника через микрофон и его воспроизведении через громкоговорители частотная характеристика отражает степень точности соответствия воспроизведенного звука звуку источника. Если воспроизведенный звук очень близок к звуку источника, устройство относится к классу «hi-fi» («высококачественное воспроизведение»). Рассматривая оптическую систему объектива как «систему передачи оптических сигналов» по аналогии с передачей электрических сигналов аудиосистемой, можно оценить точность передачи оптических сигналов путем измерения частотных характеристик оптической системы. В оптической системе аналогом частоты служит «пространственная частота», которая указывает количество периодов (циклов) синусоиды определенной плотности на 1 мм. В соответствии с определением пространственная частота измеряется в линиях на мм. На рис. 27-A показана MTF (частотно-контрастная характеристика) идеального объектива класса «hi-fi» для некоторой пространственной частоты: выходной сигнал точно соответствует входному сигналу. Принято говорить, что объективы такого типа обеспечивают контрастность 1:1. Однако в связи с остаточной аберрацией реальных объективов на практике степень контрастности всегда меньше 1:1. Как показано на рис. 27-D, при возрастании пространственной частоты (т.е. по мере того, как черно-белый рисунок, соответствующий синусоидальной волне, становится более плотным) контрастность убывает; при предельных значениях пространственной частоты различие между черными и белыми участками исчезает, и рисунок становится серым (контрастность отсутствует - 1:0). График на диаграмме 4, где по горизонтальной оси откладывается пространственная частота, а по вертикальной - контрастность, иллюстрирует это явление. Этот график обеспечивает непрерывное представление воспроизводимости разрешения и контрастности (т.е. степени модулирования). Однако на нем представлены характеристики только одной точки в области изображения; определить характеристики MTF (частотно-контрастная характеристика) для изображения в целом можно только на основе данных по нескольким точкам. Поэтому с целью определения представленных в настоящем

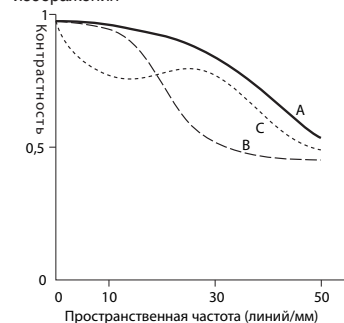
руководстве характеристик MTF (частотно-контрастная характеристика) для объективов EF применительно ко всей области изображения выбраны два типичных значения пространственной частоты (10 линий/мм и 30 линий/мм) и применены сложные технологии компьютерного моделирования; результаты представлены на графике, где по горизонтальной оси откладывается расстояние от центра изображения вдоль диагонали, а по вертикальной - контрастность.

### Пояснения к диаграммам MTF (частотно-контрастная характеристика)

На приведенных в настоящем руководстве диаграммах MTF (частотно-контрастная характеристика) для объективов по горизонтальной оси откладывается высота точки изображения (высота центра изображения принимается равной 0), а по вертикальной оси - контрастность. Характеристики MTF (частотно-контрастная характеристика) представлены для двух значений пространственной частоты: 10 линий/мм и 30 линий/мм. Значения пространственной частоты для тестовой диаграммы, значение апертуры объектива и направления в области изображения см. в следующей таблице.

Для получения информации об основных рабочих характеристиках объектива с помощью диаграммы MTF (частотно-контрастная характеристика) можно воспользоваться следующими критериями: чем ближе кривая, соответствующая значению 10 линий/мм, к значению 1, тем выше контрастность и способность к разделению; чем ближе кривая, соответствующая значению 30 линий/мм, к значению 1, тем выше разрешающая способность и резкость. Кроме того, чем меньше различаются характеристики M и S, тем более естественным выглядит размытие фона. Хотя согласованность этих характеристик играет важную роль, в большинстве случаев для прогнозирования качества изображения, воспроизводимого объективом, достаточно обратить внимание на положение кривой, соответствующей пространственной частоте 10 линий/мм: если эта кривая лежит выше значения 0,8, качество изображения будет отличным, если выше значения 0,6 - удовлетворительным. Согласно этому критерию, характеристики MTF (частотно-контрастная характеристика) для супертелеобъективов EF серии L указывают на высокие показатели качества изображения.

Диаграмма 4. Характеристики MTF (частотно-контрастная характеристика) для одной точки изображения

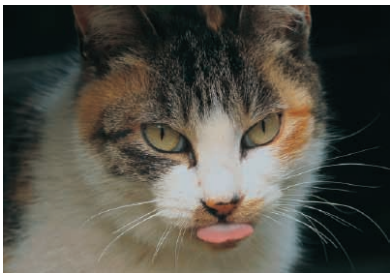




А. Высокая разрешающая способность, высокая контрастность



В. Высокая контрастность, низкая разрешающая способность

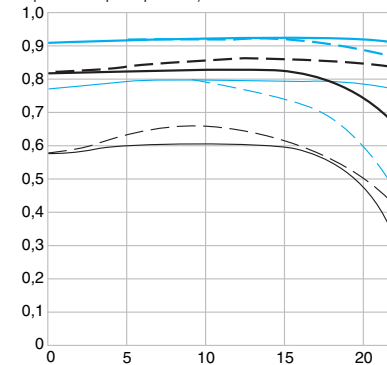


С. Высокая разрешающая способность, низкая контрастность

Табл. 3.

Пространственная частота	Максимальная апертура		F 8	
	S	M	S	M
10 линий/мм	---	---	---	---
30 линий/мм	---	---	---	---

Диаграмма 5. Характеристики MTF (частотно-контрастная характеристика)



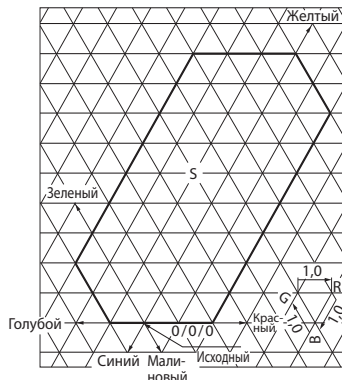
### Цветовой баланс

Точность соответствия цветов на фотографии, полученной с помощью данного объектива, цветам объекта съемки. Во всех объективах EF цветовой баланс основан на эталонных значениях, рекомендованных Международной организацией по стандартизации (ISO), и поддерживается в пределах строгого диапазона допусков, более узкого по сравнению с диапазоном допустимых значений CCI, соответствующим стандартам ISO. → CCI

### CCI (индекс вклада цвета)

В цветной фотографии на цветопередачу влияют три фактора: цветовые характеристики пленки или цифровой системы формирования изображений; цветовая температура источника света, освещающего объект съемки; характеристики пропускания света через объектив. Индекс вклада цвета (CCI) указывает «степень колебаний цвета за счет эффекта фильтрации, вызванного различиями между линзами» при использовании стандартной пленки и источника света и обозначается тремя числами в формате 0/5/4. Эти три числа представляют собой относительные значения, выраженные в виде логарифмов коэффициентов пропускания для длин волн, соответствующих трем светочувствительным эмульсионным слоям пленки - сине-фиолетовому/зеленому/красному; чем больше коэффициент пропускания, тем больше соответствующее числовое значение. Однако фотографические объективы поглощают большую часть излучения в ультрафиолетовом диапазоне, поэтому значение, соответствующее коэффициенту пропускания сине-фиолетового цвета, как правило, равно нулю; таким образом, цветовой баланс оценивается путем сравнения значений, соответствующих зеленому и красному цветам, с эталонными значениями ISO для объективов. Для задания эталонных значений ISO, характеризующих пропускание света объективами, был применен предложенный Японией метод вычисления средних значений коэффициента пропускания для 57 стандартных объективов, представляющих

Диаграмма 6. Диапазон допусков ISO в координатах CCI

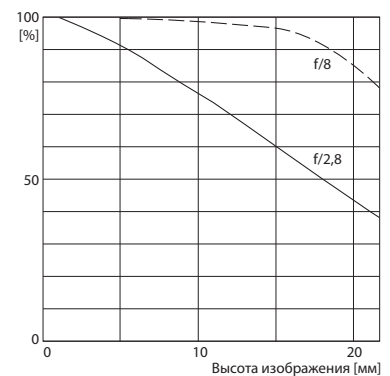


пять моделей типичных изготовителей объективов, включая компанию Canon. В результате было получено рекомендованное эталонное значение 0/5/4, которое используется в справочных целях изготовителями пленок при проектировании характеристик цветовоспроизведения для цветных пленок. Другими словами, если характеристики пропускания света объективом не соответствуют эталонным значениям ISO, показатели цветовоспроизведения для цветной пленки неизбежно будут отличаться от запланированных изготовителем.

### Периферийная освещенность

Яркость объектива определяется числом F, однако это значение характеризует только яркость в положении оптической оси, т.е. в центре изображения. Яркость (освещенность поверхности изображения) по краям изображения называется периферийной освещенностью и выражается в процентах (%) от освещенности в центре изображения. На периферийную освещенность влияет виньетирование объектива, а также закон  $\cos^4$  (косинус в четвертой степени); она всегда ниже освещенности в центре изображения. → Виньетирование, закон  $\cos^4$

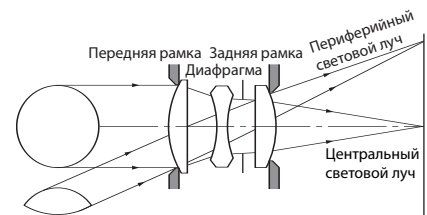
Диаграмма 7. Коэффициент освещенности в плоскости изображения, характеризующий периферийную освещенность



### Оптическое виньетирование

Входящие в объектив световые лучи от краев кадра частично блокируются рамками линз спереди и сзади от диафрагмы; это приводит к тому, что в отверстие, определяемое значением эффективной апертуры (диаметром диафрагмы), проходят не все лучи, и освещенность в периферийных областях изображения падает. Виньетирование этого типа можно устранить путем уменьшения диафрагмы объектива.

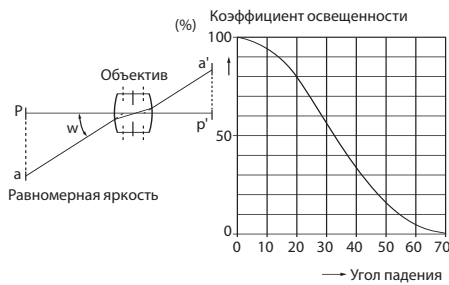
Рис. 28. Виньетирование



### Закон косинуса

Закон косинуса утверждает, что падение освещенности на периферийных участках изображения возрастает по мере уменьшения угла зрения, даже в том случае, если конструкция объектива полностью исключает виньетирование. Периферийные участки изображения формируются группами световых лучей, входящих в объектив под некоторым углом к оптической оси, и степень падения освещенности пропорциональна косинусу этого угла в четвертой степени. Поскольку это соотношение является законом физики, изменить его невозможно.

Диаграмма 8. Периферийное снижение освещенности по закону косинуса



Однако в широкоугольных объективах с большим углом зрения можно предотвратить снижение периферийной освещенности путем повышения эффективности апертуры (отношения площади входного зрачка на оси к площади выходного зрачка за пределами оси).

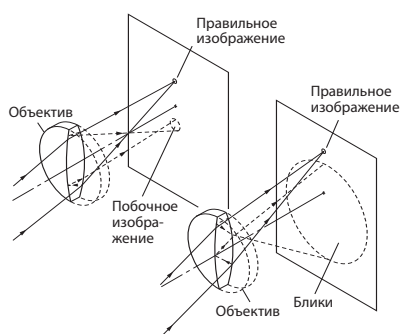
### Аппаратное виньетирование

Явление, заключающееся в частичном блокировании входящего в объектив света механическими препятствиями, например светозащитной блендой объектива или рамкой светофильтра, и приводящее к тому, что углы изображения становятся более темными или изображение в целом - более светлым. Ухудшение качества изображения в связи с препятствиями любого рода, блокирующими световые лучи, которые должны достигать изображения, обозначается общим термином «экранирование».

### Блики

Свет, отраженный от поверхностей линз, внутренней поверхности тубуса объектива или внутренних стенок зеркального бокса камеры и достигающий пленки или датчика изображения, может приводить к образованию вуали на всем изображении или на его участках и к снижению резкости изображения. Дефекты, вызванные отраженным светом, называются бликами. Хотя блики можно в значительной степени ослабить путем нанесения покрытия на поверхность линз и принятия различных мер, направленных на уменьшение отражательной способности тубуса объектива и стенок фотокамеры, обеспечить полное отсутствие бликов независимо от объекта съемки невозможно.

Рис. 29. Образование бликов и ореолов



Поэтому рекомендуется по возможности использовать светозащитную бленду объектива. Термином «блики» обозначают также эффекты размывания и образования ореола, вызванные сферической аберрацией или комой.

### Паразитное изображение

Разновидность бликов, возникающая при наличии в кадре солнца или другого мощного источника света, когда сложная последовательность отражений от поверхностей линз приводит к появлению на изображении отчетливого отражения в позиции, симметричной по отношению к источнику света. Паразитные изображения выделяются в особую категорию среди прочих бликов в связи с характерным «призрачным» внешним видом. Паразитные изображения, вызванные отражениями от поверхностей спереди от апертуры, имеют форму апертуры; в результате отражений сзади от апертуры формируются паразитные изображения, выглядящие как несфокусированные области световой вуали. Поскольку паразитные изображения могут возникать и в том случае, если мощный источник света находится за пределами кадра, для блокировки постороннего света рекомендуется использовать светозащитную бленду или другое экранирующее устройство. Возможность появления паразитных изображений при съемке можно проверить заранее; для этого следует, воспользовавшись предусмотренной в фотокамере функцией контроля глубины резкости, уменьшить диафрагму объектива до значения апертуры, которое фактически будет использоваться в момент экспозиции, и посмотреть в видоискатель.

### Покрытие

При прохождении света через линзу без покрытия приблизительно 5% света отражается на границе линзы с воздухом на входе и выходе в связи с различием показателей преломления. Помимо снижения общего количества проходящего через объектив света в результате такого отражения, повторяющиеся отражения могут привести к формированию нежелательных бликов и паразитных изображений. Во избежание отражения света на линзы наносится специальное покрытие. Путем вакуумного напыления линза покрывается пленкой, толщина которой равна 1/4 длины волны соответствующего цвета; материал пленки (например, фторид магния) должен иметь показатель преломления  $n$ , где  $n$  - показатель преломления для стекла, из которого изготовлена линза. Одиночное покрытие влияло бы только на свет определенной длины волны; поэтому на линзы объективов EF путем вакуумного напыления наносится многослойное пленочное покрытие, которое фактически снижает степень отражения для всех длин волн в диапазоне видимого света до 0,2-0,3%.

Однако покрытие наносится на линзы не только с целью предотвращения отражения. Нанесение на разные линзы покрытия, изготовленного из веществ с разными свойствами, играет важную роль в обеспечении оптимальных характеристик светового баланса для системы линз в целом.

## Оптическое стекло

### Оптическое стекло

Оптическое стекло специально предназначено для изготовления высокоточных оптических изделий - фотографических объективов, объективов видеокамер, телескопов и микроскопов. В отличие от обычного стекла, оптическое стекло обладает неизменными и точными характеристиками преломления и дисперсии (точность до шести десятичных знаков); к нему предъявляются строгие требования, касающиеся прозрачности и отсутствия дефектов - свиля, искривления и пузырей. Оптическое стекло классифицируется в соответствии с его составом и оптической постоянной (числом Аббе); в настоящее время изготавливается более 250 типов оптического стекла. В высококачественных объективах используются оптимальные сочетания различных типов оптического стекла. Стекло с числом Аббе 50 или менее называется флинтгласом (F), а стекло с числом Аббе более 55 - кронгласом (K). Каждый из этих типов стекла подразделяется на более узкие типы по различным параметрам, таким как плотность; каждому типу присвоен соответствующий серийный номер.

### Число Аббе

Числовой показатель дисперсии оптического стекла, обозначаемый греческой буквой  $v$ . Называется также оптической постоянной. Число Аббе определяется по следующей формуле, в которую входит показатель преломления для трех линий Фраунгофера: F (синий), d (желтый) и c (красный).

$$\text{Число Аббе} = v_d = n_d - 1/n_F - n_c$$

### Линии Фраунгофера

Линии поглощения, открытые в 1814 г. немецким физиком Фраунгофером (1787-1826); эти линии, составляющие спектр поглощения в непрерывном спектре солнечного света, возникают в результате воздействия газов в атмосферах Солнца и Земли. Поскольку каждой линии соответствует определенная длина волны, эти линии используются в качестве эталона при определении цветовых (связанных с длиной волны) характеристик оптического стекла. Показатель преломления для оптического стекла измеряется на основе девяти длин волн, выбранных среди линий Фраунгофера (см. табл. 4). Эти же длины волн используются в вычислениях, выполняемых для коррекции хроматической аберрации при конструировании объективов.

Табл. 4. Длины световых волн и линии спектра

Код линий спектра	i	h	g	F
Длина волны (мм)	365,0	404,7	435,8	486,1
Цвет	Ультрафиолетовый	Фиолетовый	Сине-фиолетовый	Синий

Код линий спектра	e	d	c	r	t
Длина волны (мм)	546,1	587,6	656,3	706,5	1014
Цвет	Зеленый	Желтый	Красный	Красный	Инфракрасный

Примечание: 1 нм = 10<sup>-9</sup> мм

### Флюорит

Флюорит характеризуется крайне низкими показателями преломления и дисперсии по сравнению с оптическим стеклом и обладает необычными характеристиками парциальной дисперсии, поэтому его использование в сочетании с оптическим стеклом позволяет добиться практически полного устранения хроматической аберрации. Эти свойства флюорита известны давно: в 1880 г. природный флюорит уже применялся на практике при изготовлении объективов микроскопов. Однако практическое применение природного флюорита для изготовления фотографических объективов невозможно, так как он встречается только в виде обломков малого размера. В 1968 г. компании Canon удалось обойти это затруднение: была внедрена технология изготовления больших искусственных кристаллов, позволяющая широко применять флюорит в производстве фотографических объективов.

### Линза UD

Линза, изготовленная из специального оптического стекла, по оптическим характеристикам близкого к флюориту. Линзы UD особенно эффективно устраняют хроматическую аберрацию в супертелеобъективах. Две линзы UD по своим характеристикам равнозначны одной линзе из флюорита. Аббревиатура «UD» означает «сверхнизкая дисперсия».

### Стекло без содержания свинца

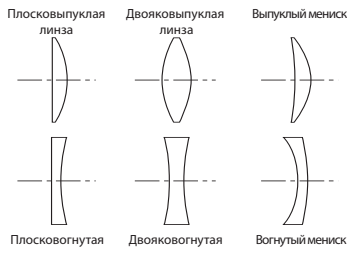
Использование оптического стекла, не содержащего свинца, способствует уменьшению вредного воздействия на окружающую среду. Свинец входит в состав оптического стекла различных типов, поскольку он повышает характеристики преломления. Хотя свинец не выделяется из стекла, в котором он содержится, он все же представляет угрозу для окружающей среды, так как попадает в нее в виде отходов при шлифовании и полировке стекла. С целью исключить использование свинца из производственных процессов компания Canon совместно с изготовителем стекла разработала технологию получения стекла без содержания свинца; в настоящее время объективы из стекла, содержащего свинец, снимаются с производства. В стекло без содержания свинца добавляется титан, который, в отличие от свинца, не

представляет опасности для окружающей среды и здоровья людей, но обеспечивает такие же оптические характеристики, что и у традиционных стекол, содержащих свинец.

## Форма линз и основы строения объективов

### Форма линз

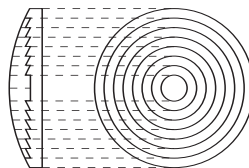
Рис. 30. Линзы различной формы



### Линзы Френеля

Один из типов собирающих линз; такие линзы формируются путем точного разделения выпуклой поверхности плоско-выпуклой линзы на большое количество концентрических кольцеобразных линз, комбинирование которых позволяет значительно уменьшить толщину линзы при сохранении свойств выпуклой линзы. В зеркальной камере для эффективного направления рассеянного света в окуляр сторона фокусирующего экрана, противоположная матовой поверхности, имеет форму линзы Френеля с шагом 0,05 мм. Кроме того, линзы Френеля часто используются во вспышках: на это указывают концентрические окружности, которые можно увидеть на белом рассеивающем экране лампы вспышки. Проекционный объектив, используемый для проецирования света в маяках, представляет собой пример гигантской линзы Френеля.

Рис. 31. Линзы Френеля



### Асферические объективы

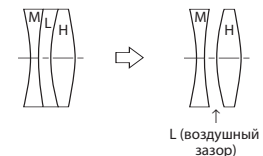
Фотографические объективы, как правило, состоят из нескольких линз, каждая из которых, если не указано иное, имеет сферические поверхности. Вследствие сферической формы всех поверхностей коррекция сферической аберрации в объективах с большой апертурой и дисторсии в сверхширокоугольных объективах является крайне трудной задачей. Специальная линза с идеальной поверхностью для коррекции этих видов аберрации, т.е. с поверхностью свободных

кривых (такая поверхность не является сферической), называется асферической линзой. Теория асферических линз и их практическое значение были известны еще на ранних этапах истории изготовления линз, однако вследствие огромной сложности практической обработки и измерения асферических поверхностей производство асферических линз было налажено только в относительно недавнее время. Первым фотографическим объективом для зеркальной камеры, содержащим асферическую линзу большого диаметра, стал объектив FD 55mm f/1.2AL, выпущенный компанией Canon в марте 1971 г. Благодаря последующим революционным достижениям технологии производства, в современных объективах EF компании Canon широко применяются асферические линзы разнообразных типов: асферические линзы из шлифованного и полированного стекла, асферические линзы, изготавливаемые путем сверхточного литья (GMO), композитные асферические линзы и дублирующие асферические линзы.

### Воздушная линза

Воздушные зазоры между стеклянными линзами, входящими в состав фотографического объектива, можно рассматривать как линзы из стекла с таким же показателем преломления, что и у воздуха (1,0). Воздушный зазор, рассматриваемый в рамках этой концепции, называется воздушной линзой. Поскольку лучи преломляются в воздушной линзе противоположным образом по сравнению со стеклянной линзой, воздушный зазор выпуклой формы действует как вогнутая линза, воздушный зазор вогнутой формы - как выпуклая линза. Этот подход был впервые предложен сотрудником германской компании Goerz Эмилем фон Хёгом в 1898 г.

Рис. 32. Принципиальная схема воздушной линзы

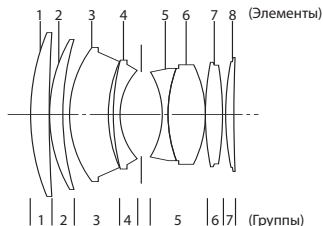


### Реальные фотографические объективы

Изображение объекта в увеличительном стекле часто характеризуется искажениями формы или цвета по краям объекта при правильном воспроизведении его центра. Это наблюдение свидетельствует о том, что одиночная линза вследствие аберрации различных видов не в состоянии воспроизвести изображение, одинаково четкое на всех его участках. Поэтому для достижения достаточного уровня резкости во всей области изображения фотографические объективы состояются из нескольких линз, различающихся по форме и другим характеристикам. В брошюрах и руководствах по эксплуатации в разделе технических характеристик

приводится базовая конструкция объектива с указанием входящих в ее состав элементов и групп. На рис. 33 в качестве примера показан объектив EF 85mm f/1.2L II USM, состоящий из 8 элементов и 7 групп.

Рис. 33. Конструкция объектива EF 85mm f/1.2L II USM

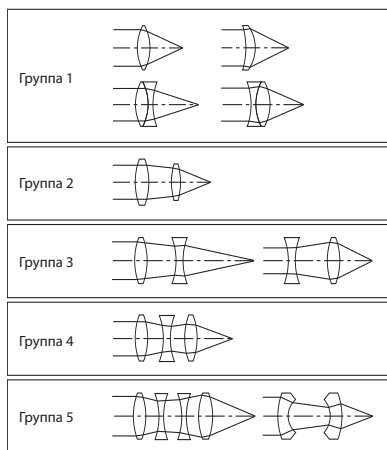


### Основы конструкции объективов

Для объективов общего назначения с фиксированным фокусным расстоянием применяется пять базовых конструкций.

- ① простейший одинарный тип — объектив представляет собой одну линзу или пару соединенных линз.
- ② и ③ - двойной тип; объектив состоит из двух независимых линз.
- ④ - тройной тип; объектив состоит из трех независимых линз, расположенных в следующем порядке: выпуклая - вогнутая - выпуклая.
- ⑤ - симметричный тип; объектив образован двумя группами линз одинаковой формы и конфигурации, расположенными симметрично относительно диафрагмы; каждая группа может состоять из одной или нескольких линз.

Рис. 34. Основные группы объективов



### Стандартные типы фотографических объективов

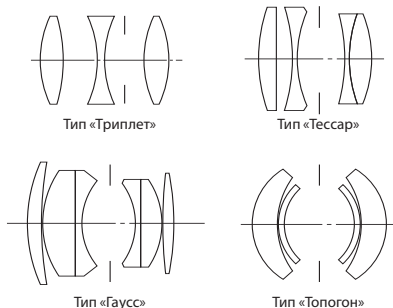
#### ● Объективы с фиксированным фокусным расстоянием

##### ① Симметричные объективы

В объективах этого типа группа линз, расположенная за диафрагмой, имеет приблизительно такую же форму и конфигурацию, что и группа линз перед диафрагмой. Симметричные объективы в свою очередь подразделяются на

различные типы: «Гаусс», «триплет», «Тессар», «Топкон», «ортометр» и т.п. В настоящее время среди указанных типов наиболее широко применяются тип «Гаусс» и его модификации, поскольку симметричная конструкция объективов этого типа обеспечивает сбалансированную коррекцию aberrации всех видов; кроме того, для таких объективов можно добиться сравнительно большой величины заднего отрезка. При разработке объектива 50mm f/1.8, выпущенного компанией Canon в 1951 г., было достигнуто устранение комы, которая в то время являлась единственным недостатком объективов типа «Гаусс»; существенное улучшение рабочих характеристик позволяет рассматривать эту модель как поворотный пункт в истории конструирования объективов. Конструкция типа «Гаусс» используется в объективах EF 50mm f/1.4 USM, EF 50mm f/1.8 II и EF 85mm f/1.2L II USM, выпускаемых компанией Canon в настоящее время. Симметричные конструкции типа «Тессар» и «триплет» применяются в настоящее время в компактных фотокамерах, снабженных объективами с фиксированным фокусным расстоянием.

Рис. 35. Стандартные типы фотографических объективов



#### ② Телеобъективы

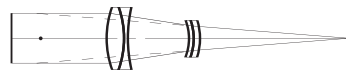
В обычных фотографических объективах общая длина объектива (расстояние от вершины самой передней линзы до фокальной плоскости) превышает фокусное расстояние. Если бы эта закономерность сохранялась для объективов с очень большим фокусным расстоянием, такие объективы были бы громоздкими и неудобными в использовании. Для сохранения удобного размера объектива при большом фокусном расстоянии за главным выпуклым (собирающим) блоком линз располагается вогнутый (рассеивающий) блок линз; длина объектива такой конструкции меньше фокусного расстояния. Объективы такого типа называются телеобъективами. Вторая главная точка в телеобъективах расположена спереди от самой передней линзы.

#### ● Характеристическое соотношение для телеобъективов

Отношение общей длины телеобъектива к его фокусному расстоянию называется характеристическим соотношением для

телеобъектива. Другими словами, это соотношение равно расстоянию от вершины самой передней линзы до фокальной плоскости, деленному на фокусное расстояние. Для телеобъективов это значение меньше единицы. Например, для телеобъектива EF 300mm f/2.8L IS USM характеристическое соотношение равно 0,94, а для телеобъектива EF 600mm f/4L IS USM - 0,81.

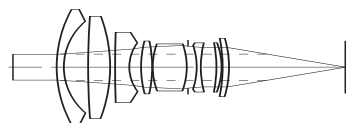
Рис. 36. Телеобъектив



#### ③ Ретрофокусные объективы

Широкоугольные объективы обычной конструкции невозможно использовать в зеркальных камерах, так как они препятствовали бы качательному движению заднего зеркала вверх и вниз вследствие малого значения заднего отрезка. Поэтому широкоугольные объективы для зеркальных камер конструируются противоположным образом по отношению к телеобъективам: рассеивающий блок линз располагается перед собирающим блоком линз. В такой конструкции вторая главная точка находится за объективом (между самой задней линзой и плоскостью пленки), и значение заднего отрезка больше фокусного расстояния. Объективы такого типа, как правило, называются ретрофокусными объективами по наименованию изделия, выпускаемому французской компанией Angenieux. В оптической терминологии такие объективы называют обращенными телеобъективами.

Рис. 37. Обращенные телеобъективы (Ретрофокусные объективы)



### Зум-объективы

#### ④ Зум-объективы, состоящие из четырех групп линз

Традиционная конфигурация зум-объективов предусматривает четыре группы линз с четким разделением функций (группа фокусировки, группа настройки увеличения, группа коррекции и группа формирования изображения). Две группы - группа настройки увеличения и группа коррекции - перемещаются в процессе зумирования. Поскольку такая конструкция позволяет достичь высокого коэффициента увеличения, она широко используется в объективах кинокамер и телеобъективах зеркальных фотокамер. Однако в связи с трудностями, возникающими при конструировании компактных зум-объективов, она все реже используется в современных зум-объективах (кроме телеобъективов).

#### ⑤ Короткие зум-объективы

Разъяснение → стр.175

**6 Зум-объективы, состоящие из большого количества групп линз**  
Разъяснение → стр.175

**Фокусировка и перемещение объектива**

**Фокусировка и способы перемещения объектива**

Способы перемещения объектива для фокусировки можно подразделить на пять обширных категорий, описание которых приведено ниже.

**1 Прямолнейное выдвигание всего объектива**

В процессе фокусировки вся оптическая система объектива перемещается вперед и назад по прямой. Это простейший тип фокусировки; он применяется главным образом в стандартных широкоугольных объективах с фиксированным фокусным расстоянием, таких как EF 15mm f/2.8 Fisheye EF 50mm f/1.4 USM, TS-E 90mm f/2.8 и другие объективы EF.

**2 Прямолнейное выдвигание передней группы линз**

В процессе фокусировки задняя группа линз остается неподвижной, а передняя группа перемещается вперед и назад по прямой. Примеры объективов с прямолнейным выдвиганием передней группы линз: EF 50mm f/2.5 Compact Macro, MP-E 65mm f/2.8 Macro Photo и EF 85mm f/1.2L II USM.

**3 Вращательное выдвигание передней группы линз**

В процессе фокусировки секция тубуса объектива, содержащая переднюю группу линз, вращается, обеспечивая тем самым перемещение передней группы вперед и назад. Фокусировка этого типа используется только в зум-объективах и никогда не встречается в объективах с фиксированным фокусным расстоянием. Типичными примерами объективов, в которых применяется этот способ, служат объективы EF 28-90mm f/4-5.6 III, EF 75-300mm f/4-5.6 IS USM, EF 90-300mm f/4.5-5.6 USM и другие объективы EF.

**4 Внутренняя фокусировка**

Фокусировка осуществляется за счет перемещения одной или нескольких групп линз, расположенных между передней группой линз и диафрагмой. → стр.176

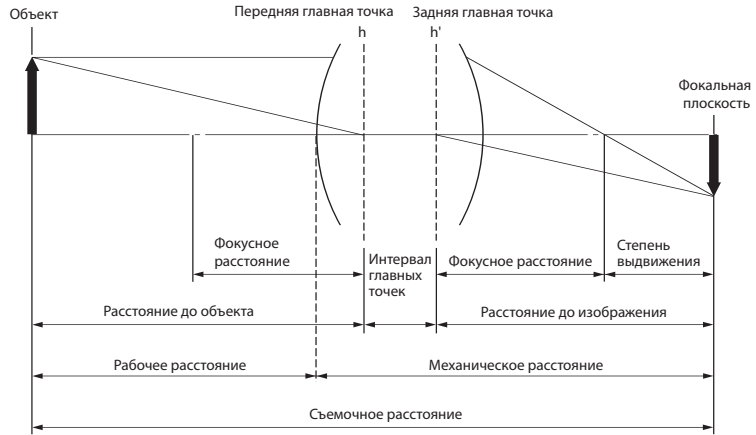
**5 Задняя фокусировка**

Фокусировка осуществляется за счет перемещения одной или нескольких групп линз, расположенных за диафрагмой. → стр.177

**Система с подвижными компонентами**

В такой системе расстояние между некоторыми линзами изменяется в зависимости от степени выдвигания, что позволяет компенсировать колебания аберрации, связанные с расстоянием от камеры до объекта. Эта конструкция называется также механизмом компенсации ближней аберрации. → стр.177

Рис. 38. Съёмочное расстояние, расстояние до объекта и расстояние до изображения



**Съёмочное расстояние/расстояние до объекта/расстояние до изображения**

**Расстояние от камеры до объекта**

Расстояние от фокальной плоскости об объекта. Положение фокальной плоскости указано на верхней панели большинства фотокамер символом « $\ominus$ ».

**Расстояние до объекта**

Расстояние от передней главной точки объектива до объекта.

**Расстояние до изображения**

Расстояние от задней главной точки объектива до фокальной плоскости при фокусировке объектива на объекте, расположенном на определенном расстоянии.

**Степень выдвигания**

Для объективов, фокусируемых путем перемещения оптической системы как целого, - величина необходимого сдвига объектива, первоначально сфокусированного на бесконечно удаленной точке, для фокусировки на объекте, который расположен на ограниченном расстоянии.

**Механическое расстояние**

Расстояние от переднего края тубуса объектива до фокальной плоскости.

**Рабочее расстояние**

Расстояние от переднего края тубуса объектива до объекта. Этот показатель особенно важен при съемке крупного объекта, расположенного на ограниченном расстоянии.

**Увеличение изображения**

Соотношение между (линейными) размерами реального объекта и изображения, воспроизводимого на пленке. С помощью объектива для макросъемки, на котором указано увеличение 1:1, можно воспроизвести на пленке изображение того же размера, что и реальный объект (изображение в натуральную величину). Как правило, увеличение выражается значением, равным отношению размера изображения к размеру реального объекта. (Например, увеличение 1:4 обозначается 0,25x.)

Рис. 39. Взаимосвязь между фокусным расстоянием, степенью выдвигания (всего объектива) и увеличением

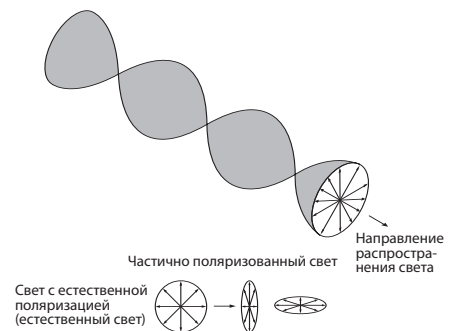


**Поляризованный свет и поляризационные светофильтры**

**Поляризованный свет**

Поскольку свет является разновидностью электромагнитных волн, его колебания можно рассматривать как равномерно распределенные по всем направлениям, перпендикулярным направлению распространения. Свет такого типа называется естественным светом (или светом с естественной поляризацией). Если по каким-либо причинам направление колебаний естественного света становится поляризованным, такой свет называется поляризованным светом. Например, при отражении естественного света от поверхности стекла или воды колебания отраженного света происходят только

Рис. 40. Электромагнитная волна с естественной поляризацией





в одном направлении; такой свет является полностью поляризованным. В солнечный день свет, исходящий из области неба под углом 90° к солнцу, поляризуется под действием молекул воздуха и взвешенных в атмосфере частиц. Полупрозрачные зеркала, используемые в зеркальных камерах с автофокусировкой, также приводят к поляризации света.

### Линейный поляризационный светофильтр

Светофильтр, пропускающий свет только с заданным направлением колебаний. Поскольку в этом случае траектория колебаний света, прошедшего через светофильтр, является линейной, такой светофильтр называется линейным поляризационным светофильтром. Светофильтр данного типа устраняет отражения от стекла и воды так же, как круговой поляризационный светофильтр; однако в большинстве фотокамер с автоэкспозицией и автофокусировкой эффективное использование такого светофильтра невозможно, так как в камерах с автоэкспозицией, оборудованных системой замера через объектив (TTL) с помощью полупрозрачных зеркал, он приводит к ошибкам экспозиции, а в камерах с автофокусировкой, содержащих систему определения дальности с помощью полупрозрачных зеркал - к ошибкам фокусировки.

### Круговой поляризационный светофильтр

Круговой поляризационный светофильтр функционально не отличается от линейного поляризационного светофильтра, поскольку он пропускает только свет с определенным направлением колебаний. Различие заключается в том, что при распространении света, прошедшего через круговой поляризационный светофильтр, траектория его колебаний имеет форму спирали. Поэтому такой светофильтр не влияет на функционирование полупрозрачных зеркал и не нарушает нормальную работу функций автоэкспозиции через объектив и автофокусировки. Если при работе с камерой EOS требуется применить поляризационный светофильтр, пользуйтесь только круговым поляризационным светофильтром. Круговой поляризационный светофильтр устраняет отраженный свет так же эффективно, как и линейный поляризационный светофильтр.

## Термины, относящиеся к цифровым камерам

### Датчик изображения

Полупроводниковый элемент, преобразующий данные изображения в электрический сигнал; по своему назначению соответствует пленке в обычной пленочной фотокамере. Называется также элементом формирования изображения. В качестве элементов формирования изображений в цифровых камерах наиболее часто используются приборы с зарядовой связью (CCD) и комплементарные металло-оксидные

полупроводники (CMOS). Элементы обоих типов представляют собой плоские датчики, на поверхности которых расположено большое количество рецепторов (пикселей), преобразующих колебания света в электрические сигналы. Чем больше количество рецепторов, тем выше точность воспроизведения изображения. Поскольку эти рецепторы чувствительны только к яркости, но не к цвету, для одновременного сбора данных по яркости и цвету перед ними располагаются светофильтры RGB или CMYK.

### Фильтр нижних частот

В элементах формирования изображений, обычно используемых в цифровых фотокамерах, сбор информации о цветах RGB или CMYK осуществляется каждым из рецепторов, расположенных на поверхности. Это означает, что падение света с высокой пространственной частотой на единственный пиксел может приводить к различным явлениям, при которых на изображении появляются цвета, отсутствующие на объекте съемки: ложные цвета, муар и т.п. Во избежание появления ложных цветов необходимо добиться того, чтобы свет падал на большое количество рецепторов; для этого используются рецепторы, выполняющие функции фильтров нижних частот. Для фильтрации нижних частот перед элементами формирования изображений размещаются жидкие кристаллы и другие кристаллические структуры, характеризующиеся двойным преломлением (явление, заключающееся в создании двух потоков преломленного света). Двойное преломление света с высокой пространственной частотой с помощью фильтров нижних частот позволяет получить свет, достигающий нескольких элементов.

## Человеческий глаз и оптическая сила видоискателя

### Зрение, острота зрения

Способность глаза различать детали формы объекта. Выражается числовым значением, соответствующим обратной величине по отношению к минимальному углу зрения, при котором глаз может отчетливо различать две точки или линии; другими словами - разрешение глаза относительно разрешения 1'. (Разрешение 1' принимается равным 1.)

Рис. 41. Строение человеческого глаза



### Аккомодация глаза

Способность глаза изменять показатель преломления для формирования изображения объекта на сетчатке. При расслабленной системе аккомодации глаза показатель преломления минимален.

### Нормальное зрение, эмметропия

Состояние глаза, в котором при расслабленной системе аккомодации глаза изображение бесконечно удаленной точки формируется на сетчатке.

### Дальнозоркость

Состояние глаза, в котором при расслабленной системе аккомодации глаза изображение бесконечно удаленной точки формируется позади сетчатки.

### Близорукость, миопия

Состояние глаза, в котором при расслабленной системе аккомодации глаза изображение бесконечно удаленной точки формируется спереди от сетчатки.

### Астигматизм

Состояние глаза, в котором на визуальной оси глаза наблюдается астигматизм.

### Пресбиопия

Состояние глаза, в котором способность к фокусированию ухудшается с возрастом. В фотографической терминологии этому состоянию соответствует уменьшение глубины резкости при неизменном фокусе.

### Наименьшее расстояние отчетливого зрения

Наименьшее расстояние, на котором глаз, обладающий нормальным зрением, может видеть объект без усилий. Обычно это расстояние принимается равным 25 см/0,8 фута.

### Оптическая сила

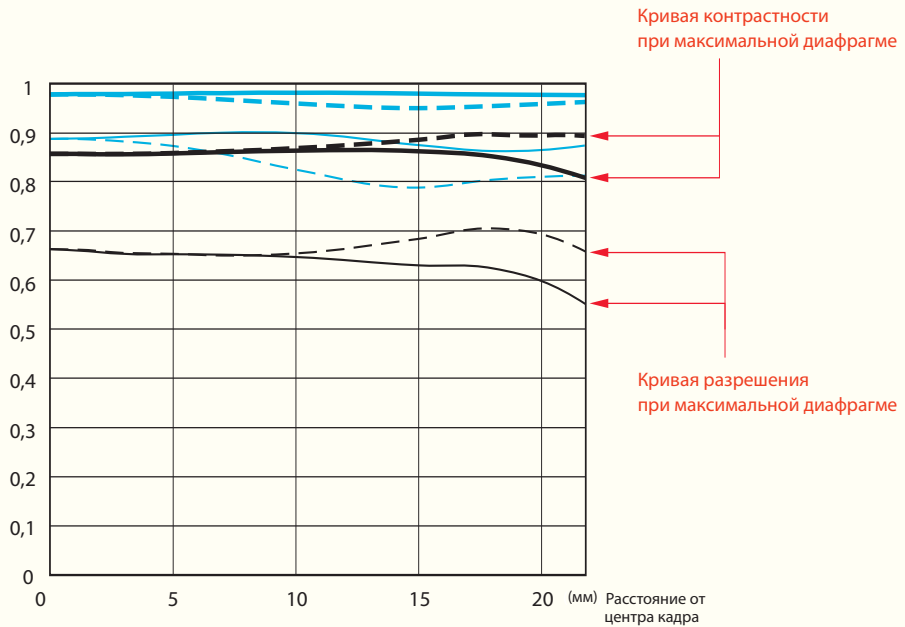
Степень схождения или рассеяния пучка световых лучей, исходящих из видоискателя. Для всех камер EOS установлена стандартная оптическая сила, равная -1 диоптрии. Это значение позволяет видеть в видоискателе изображение объекта, удаленного на 1 м или более. Если изображение в видоискателе выглядит неотчетливым, следует подсоединить к окуляру фотокамеры линзу диоптрийной коррекции, оптическая сила которой в сумме со стандартной оптической силой видоискателя обеспечивает отчетливое изображение объекта на расстоянии 1 м. Числовые значения, отпечатанные на линзах диоптрийной коррекции EOS, указывают суммарную оптическую силу, получаемую при подсоединении линзы диоптрийной коррекции к камере.

# MTF (частотно-контрастная характеристика)

## Значение MTF (частотно-контрастная характеристика)

Значение MTF (частотно-контрастная характеристика) 0,8 или более при 10 линиях/мм свидетельствует о превосходном качестве объектива.

Значение MTF (частотно-контрастная характеристика) 0,6 или более при 10 линиях/мм свидетельствует об удовлетворительном качестве изображения.



Пространственная частота	Максимальная диафрагма		f/8	
	S	M	S	M
10 линий/мм	—	-----	—	-----
30 линий/мм	—	-----	—	-----

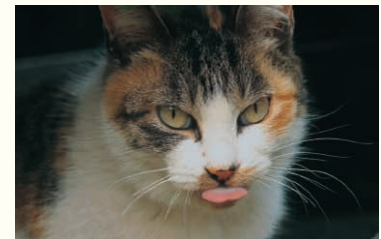
Чем больше совпадают кривые S и M, тем более естественным становится размытие изображения.



Высокая разрешающая способность и контрастность

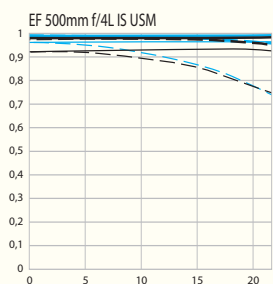
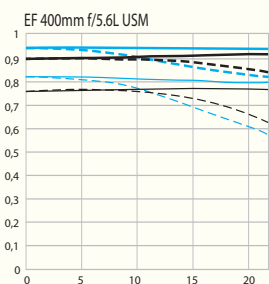
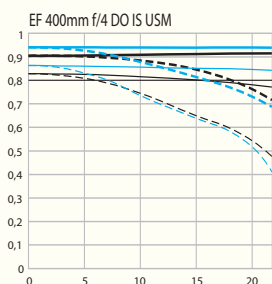
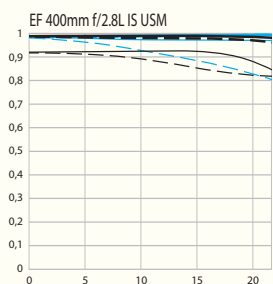
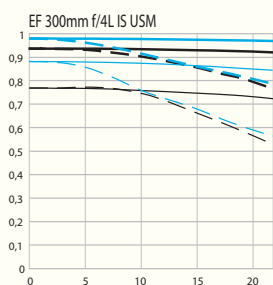
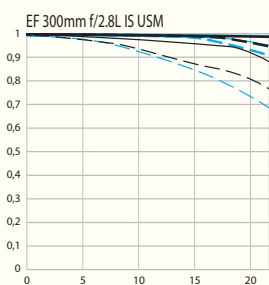
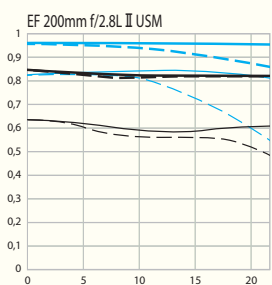
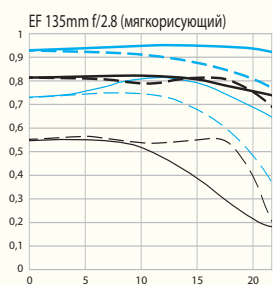
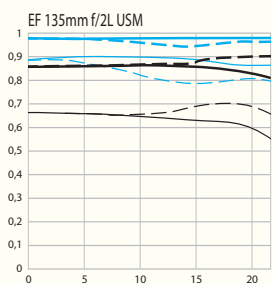
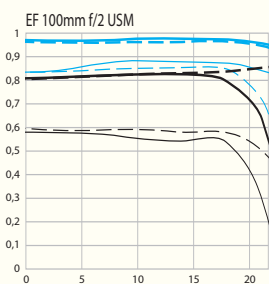
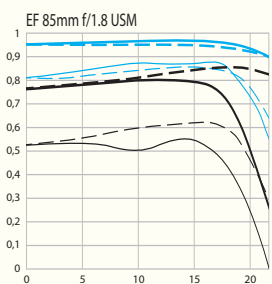
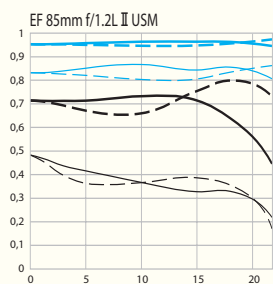
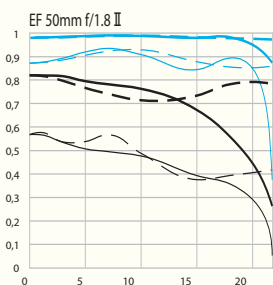
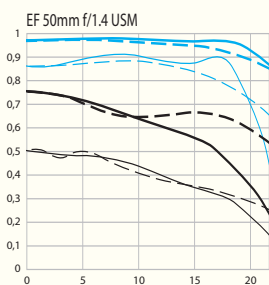
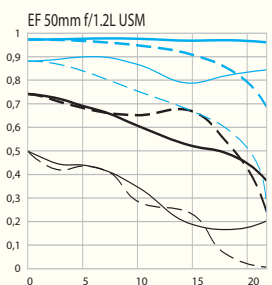
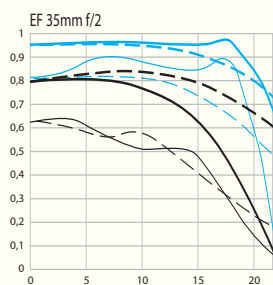
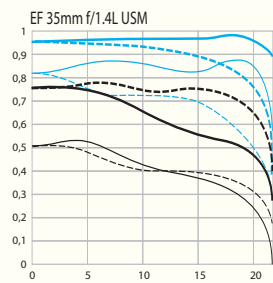
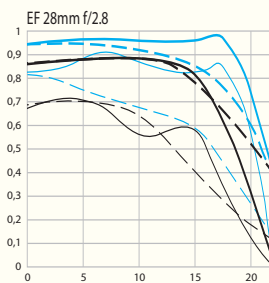
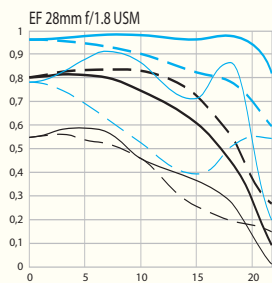
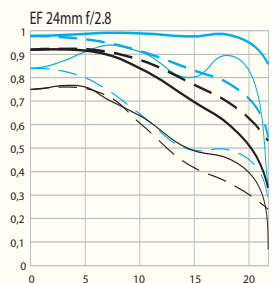
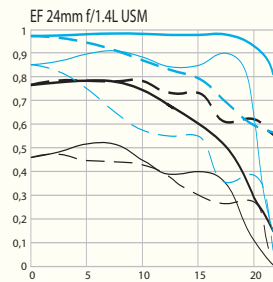
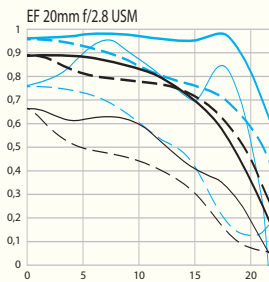
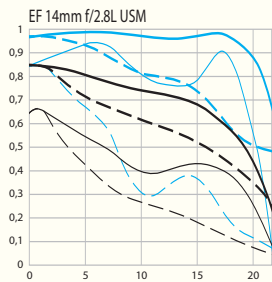
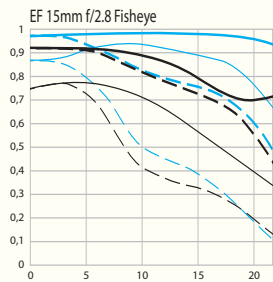


Контрастность высокая, а разрешающая способность низкая

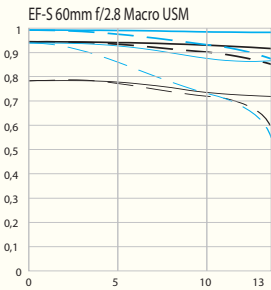
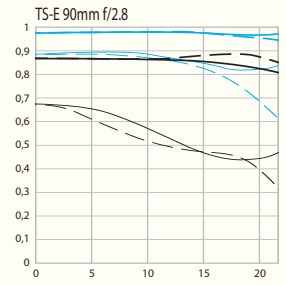
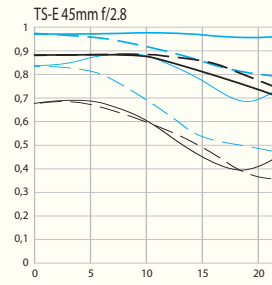
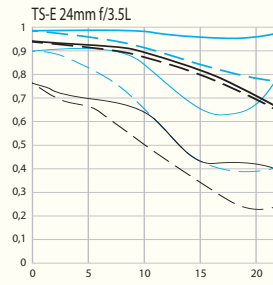
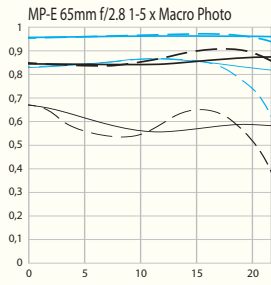
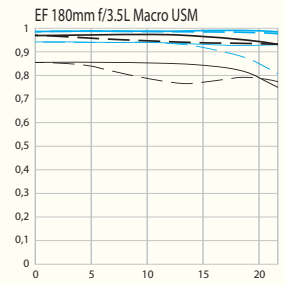
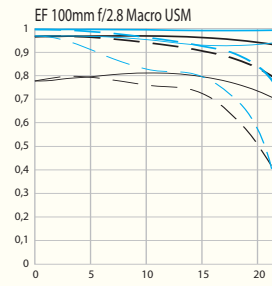
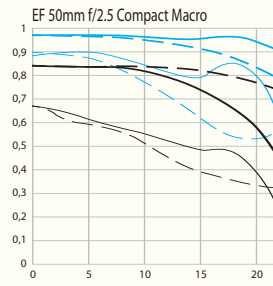
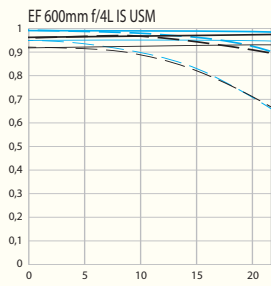


Разрешающая способность высокая, а контрастность низкая

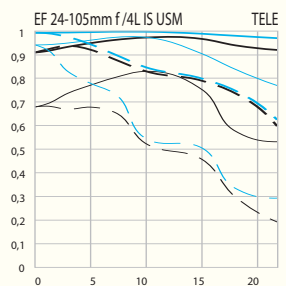
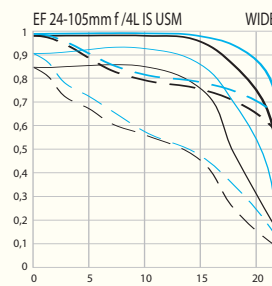
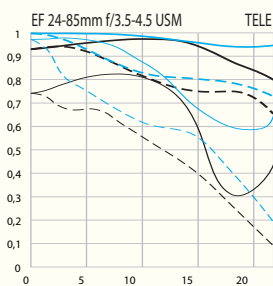
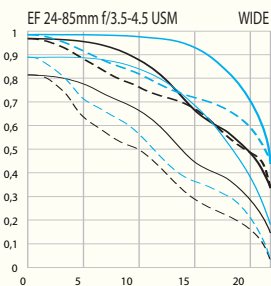
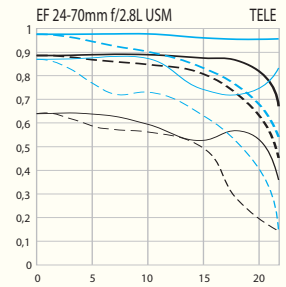
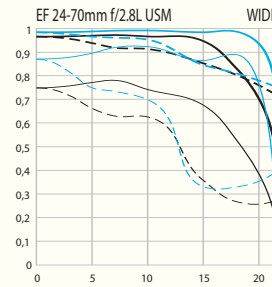
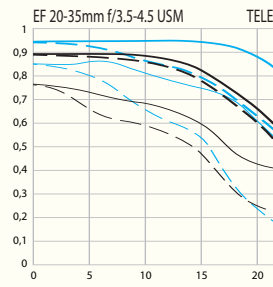
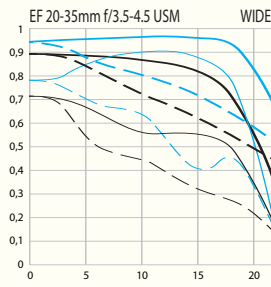
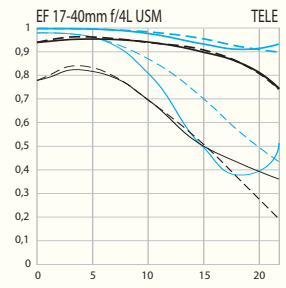
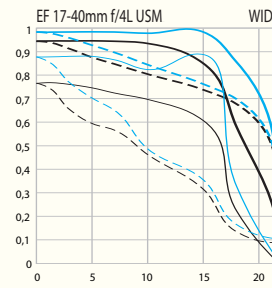
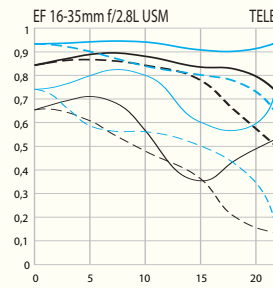
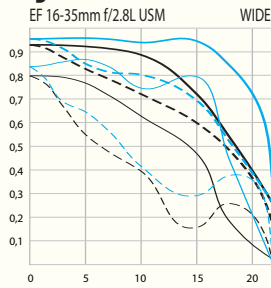
# Объективы с фиксированным фокусным расстоянием



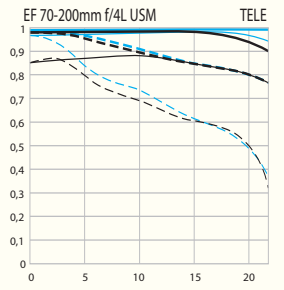
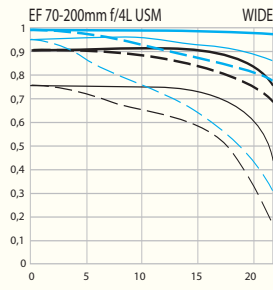
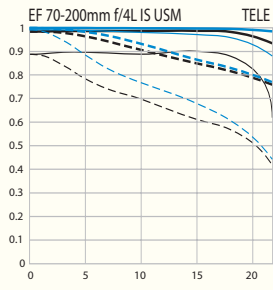
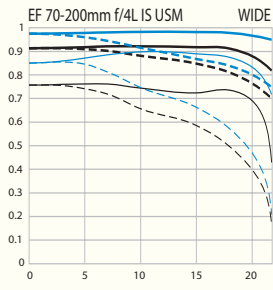
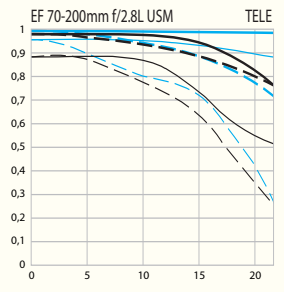
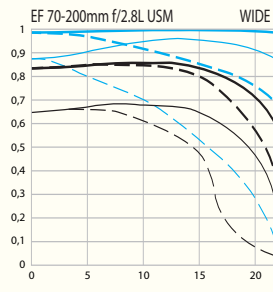
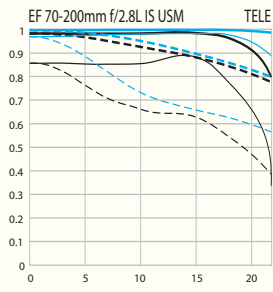
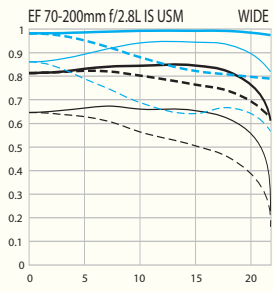
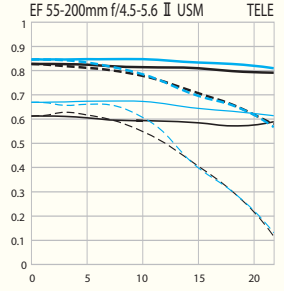
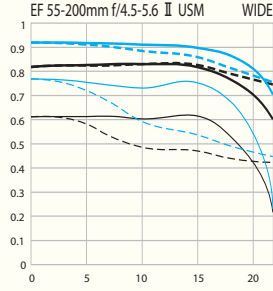
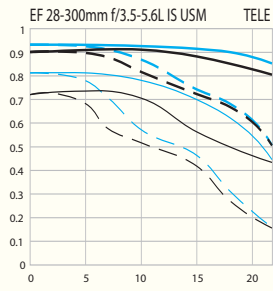
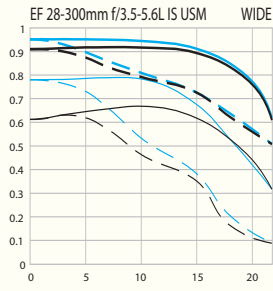
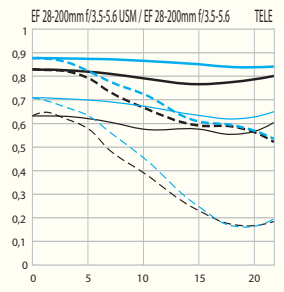
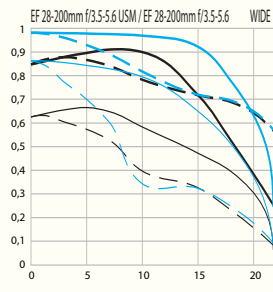
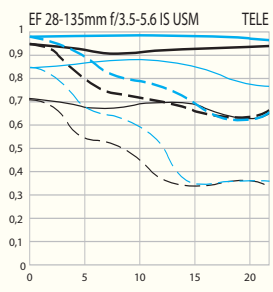
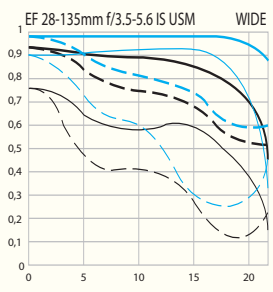
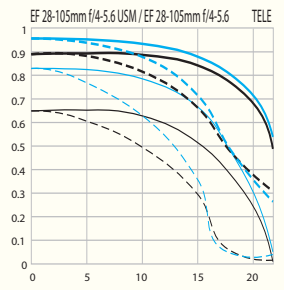
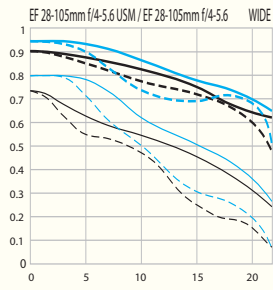
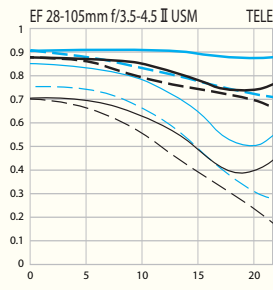
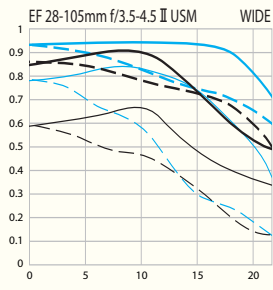
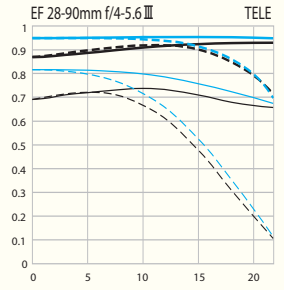
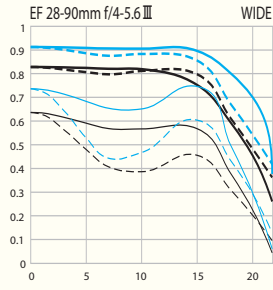
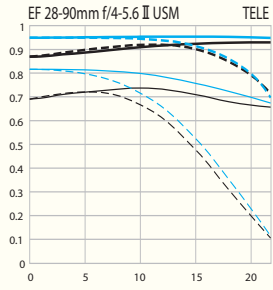
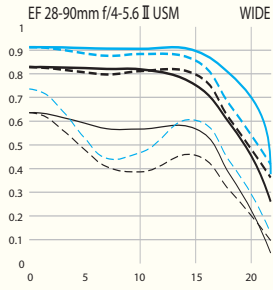
## MTF (частотно-контрастная характеристика)



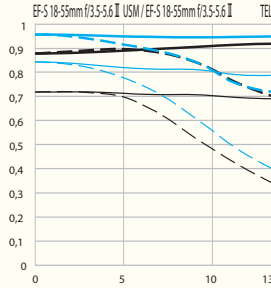
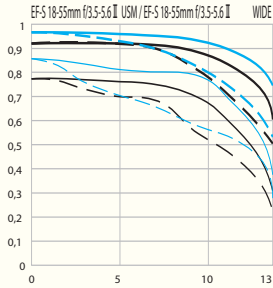
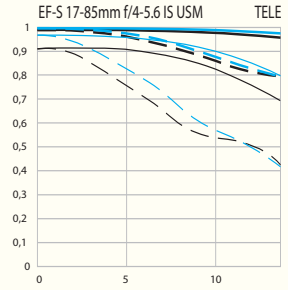
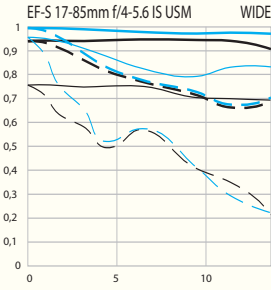
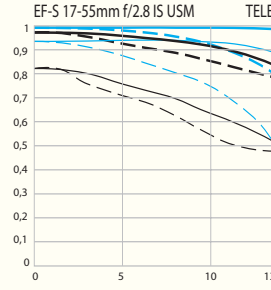
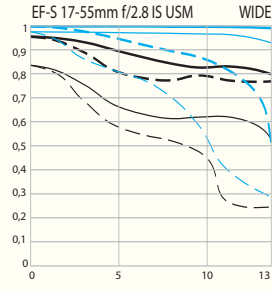
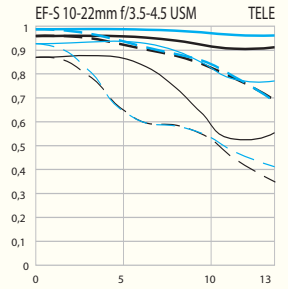
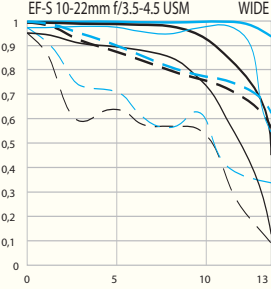
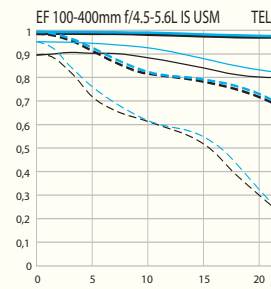
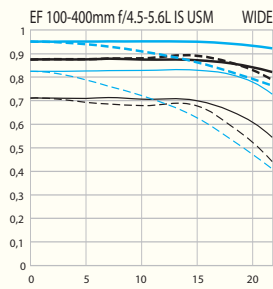
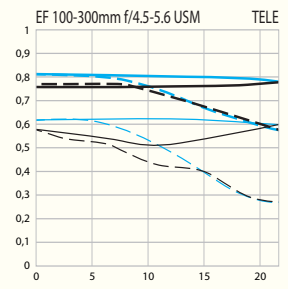
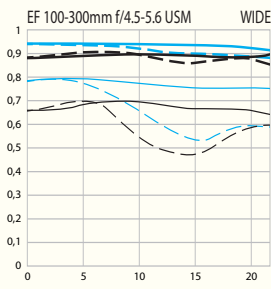
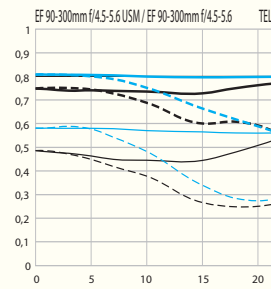
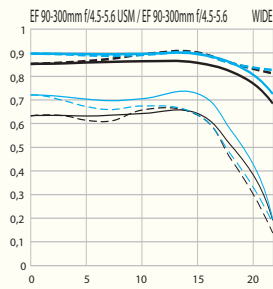
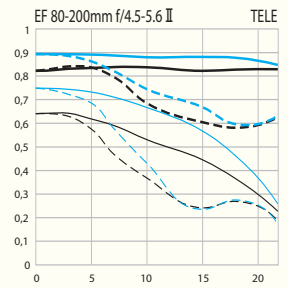
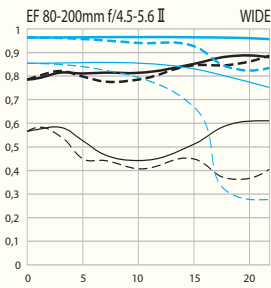
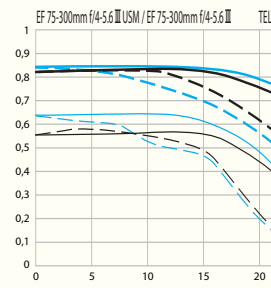
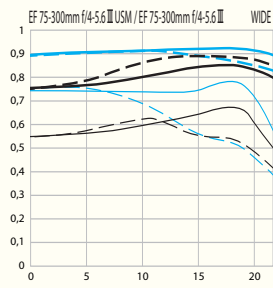
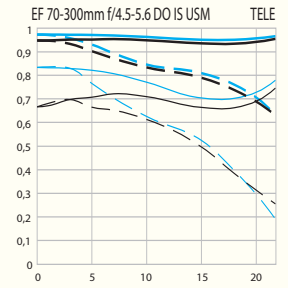
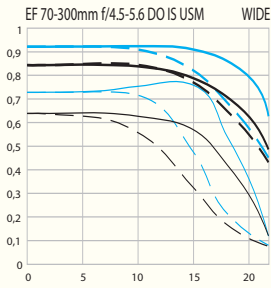
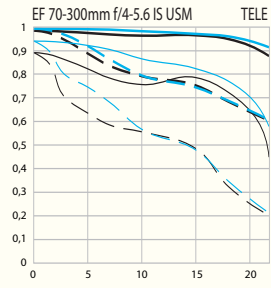
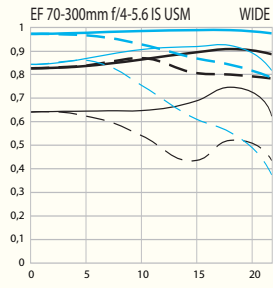
## Зум-объективы



# Зум-объективы

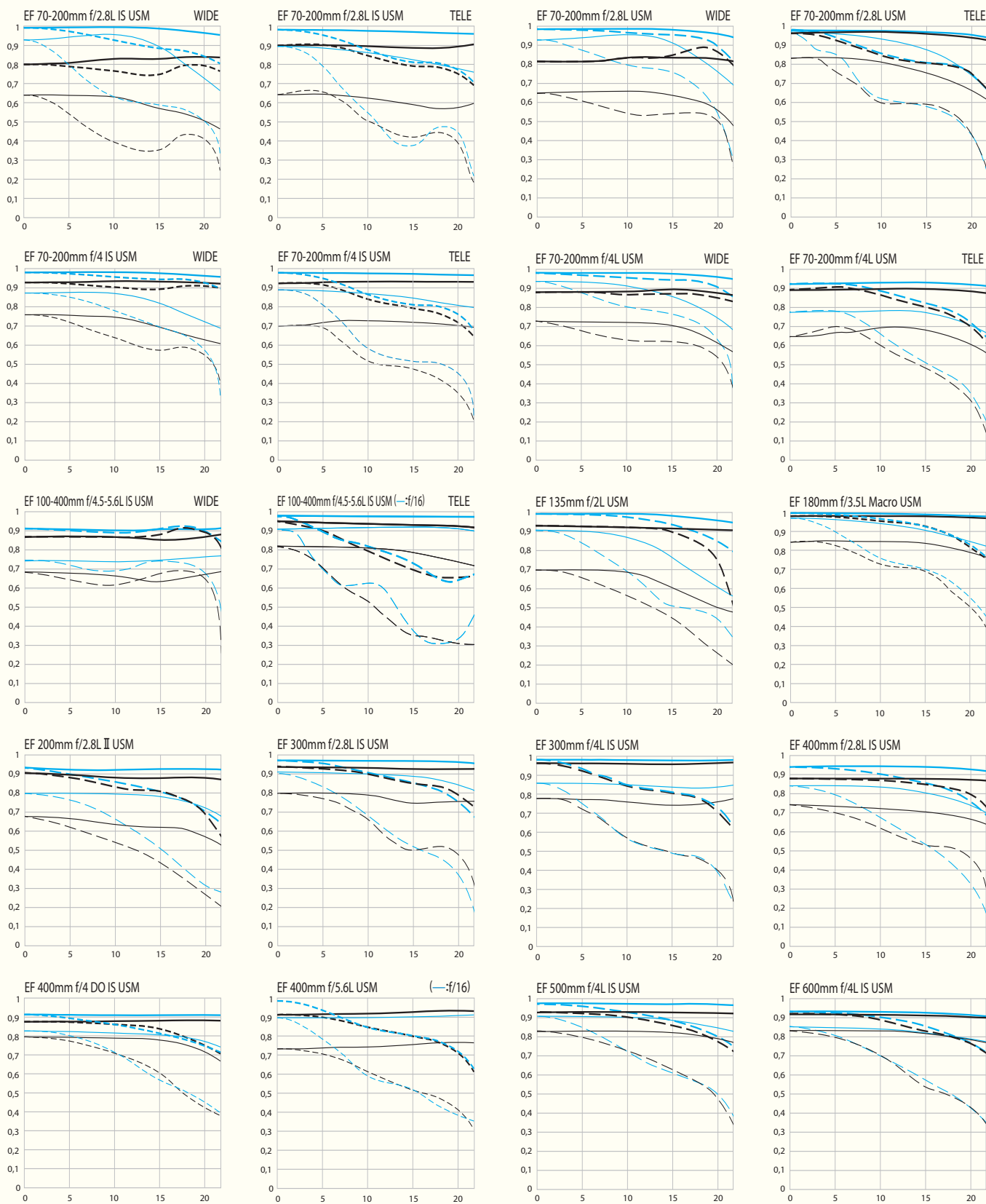


MTF (частотно-контрастная характеристика)

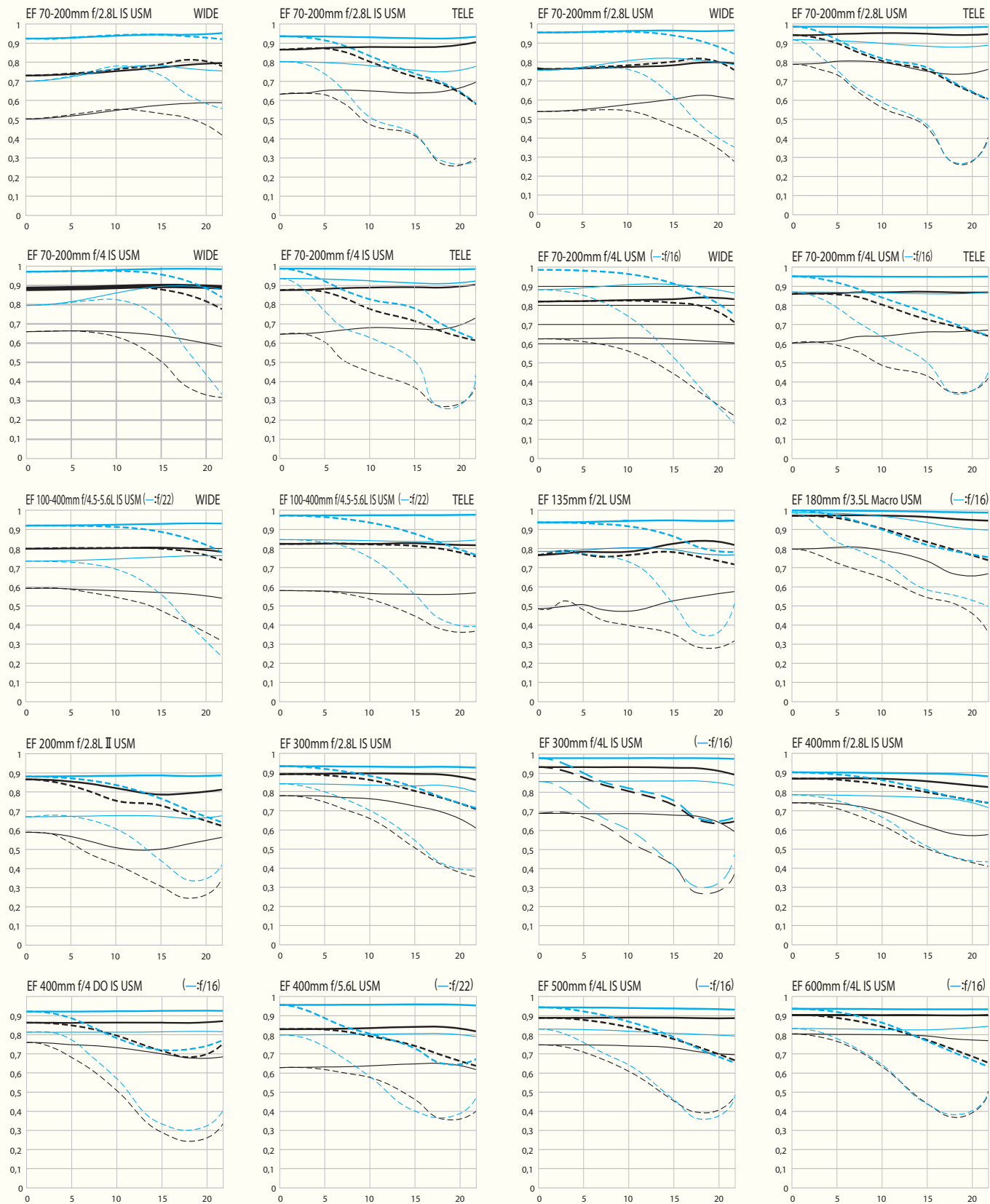


# Экстендеры

## EF 1.4x II



## EF 2x II





# EF LENS WORK III Глаза EOS

Сентябрь 2006 г., восьмая редакция

---

<b>Публикация и планирование</b>	Canon Inc. Lens Products Group
<b>Изготовление и редакция</b>	Canon Inc. Lens Products Group
<b>Печать</b>	Nikko Graphic Arts Co., Ltd.
<b>Благодарим за сотрудничество:</b>	Brasserie Le Solferino/Restaurant de la Maison Fouraise, Chatou/ Hippodrome de Marseille Borely/Cyrille Varet Creations, Paris/Jean Pavie, artisan luthier, Paris/Participation de la Mairie de Paris/Jean-Michel OTHONIEL, sculpteur © Canon Inc., 2003 г.

---

Изделия и характеристики могут быть изменены без предварительного уведомления.  
Фотографии, содержащиеся в этой книге, являются собственностью корпорации Canon Inc.  
или использованы с разрешения фотографа.

**CANON INC.** 30-2, Shimomaruko 3-chome, Ohta-ku, Tokyo 146-8501, Japan