

системы составляет 0,5, а яркость источника света (дуга) $1,5 \cdot 10^8$ нит.

Решение. Объектив с относительным отверстием 1:2 имеет $n=2$, а 400-кратному увеличению соответствует $\beta=400$.

Формулу (58,2) напомним так:

$$E' = \frac{\pi V \tau}{4\beta^2 n^2} = 93 \text{ лк.}$$

§ 59. КОЛЛИМАТОРЫ И АВТОКОЛЛИМАТОРЫ

Коллиматором называется оптический прибор, образующий параллельный пучок лучей. Коллиматор часто применяется для всякого рода контрольных испытаний и исследований оптических

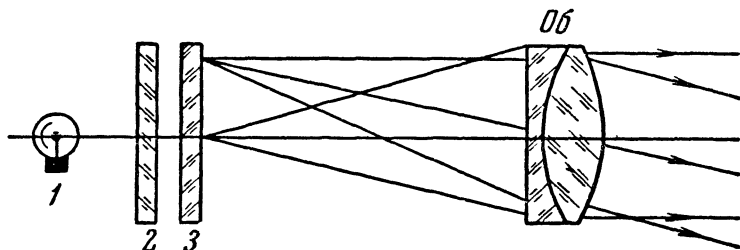


Рис. 114. Коллиматор: 1 — источник света; 2 — молочное или матовое стекло; 3 — сетка

деталей и узлов. Он является частью ряда приборов: спектральных, контрольно-измерительных, прицельных, приборов связи и сигнализации и др. Оптическая схема коллиматора показана на рис. 114. Источник света освещает плоскопараллельную пластинку — сетку, имеющую какие-либо штрихи или отверстия на темном фоне. Для более равномерного освещения между источником света и сеткой, как можно ближе к сетке, устанавливают матовое или молочное стекло. Сетку помещают в фокальной плоскости объектива. Тогда из объектива лучи выходят в виде параллельных пучков.

Коллиматор широко применяется в различных сигнальных фотоэлектрических устройствах (фотореле). Пучок лучей, вышедший из объектива коллиматора, направляется на фотозащитный элемент (рис. 115, а). Если пучок лучей преградить, то прекратится падение лучей света на фотозащитный элемент и тем самым исчезнет фототок. Фототоки усиливаются и поступают в электромагнитное реле, которое, смотря по необходимости, срабатывает, когда ток впервые возникает или когда ток исчезает. Подобное устройство нашло широкое применение в автоматике, во многих отраслях техники. Фотореле сигнализирует об обрыве бесконечных лент, об обрыве

бумаги, тканей и т. п. Оно используется для автоматического счета изделий, для регулирования наполнения сосудов и т. д.

Для получения параллельного пучка лучей необходим точечный источник света. Однако все современные электрические источники света имеют световое тело сравнительно большого размера.

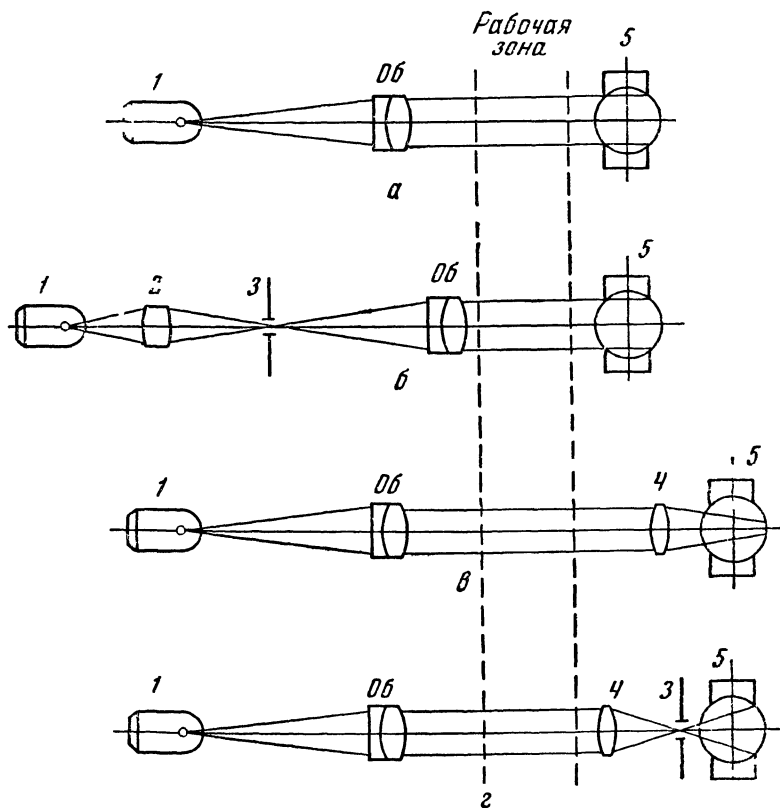


Рис 115 Оптическая схема фотореле 1 — источник света, 2 — конденсор I, 3 — диафрагма, 4 — конденсор II, 5 — фотозлемент

Например, электролампа СГ2 имеет тело накала $0,9 \times 1,5$ мм. Применение этой лампы при фокусном расстоянии объектива коллиматора 150 мм дает угловую величину светового рассеяния лучей примерно в $40'$.

Введение в систему коллиматора, конденсора и диафрагмы позволяет получить искусственный точечный источник света (рис. 115, б). Источник света с помощью конденсора, обычно при $\beta = -1$, освещает отверстие в диафрагме (0,1—0,3 мм). Диафрагма устанавливается в переднем фокусе объектива. Подобным образом удастся уменьшить угол светового рассеяния лучей до $7'$.

Расстояния между коллиматором и фотоэлементом могут достигать нескольких метров. Необходимо лишь иметь совмещенными оптическую ось объектива и смотровую ось фотоэлемента. В пределах всего расстояния между объективом и фотоэлементом освещенность площадки, поставленной нормально к пучку лучей, практически остается неизменной. Лишь на больших расстояниях, на которых сказываются рассеяние света, задымленность атмосферы, начинает изменяться освещенность и уменьшаться количество фототока.

Освещенность фотоэлемента практически равна освещенности выходного зрачка объектива, тогда на основании (24,7)

$$E' = \frac{F'}{S_{об}},$$

где $S_{об}$ — площадь выходного зрачка объектива.

Воспользуемся формулой (28,2), из которой при $n=n'=1$ получим освещенность отверстия диафрагмы, установленной в передней фокальной плоскости объектива

$$E = \pi B \tau \sin^2 u'.$$

В этой формуле апертурный угол u' заменим приближенно равным ему углом

$$u' = \frac{1}{2n},$$

где n — диафрагменное число объектива.

Тогда получим

$$E = \frac{\pi B \tau}{4n^2}.$$

Определим световой поток, пронизывающий отверстие этой диафрагмы с площадью $S \cdot F' = SE$. Площадь отверстия этой диафрагмы

$$S = \pi \frac{\sigma^2}{4},$$

где σ — диаметр отверстия диафрагмы. Наибольшее значение диаметра отверстия может быть равно величине изображения светового тела. Если же диаметр диафрагмы меньше диаметра изображения светового тела источника света, то под σ понимается диаметр отверстия. Тогда

$$F' = \frac{\pi^2 B \tau \sigma^2}{16n^2}. \quad (59,1)$$

Если диаметр отверстия диафрагмы равен диаметру изображения светового тела, то световой поток можно найти по формуле

$$F' = \frac{F_0 \tau}{16n^2}, \quad (59,2)$$

где F_0 — общий световой поток точечного источника света, известный из каталога.

Если отверстие диафрагмы меньше изображения светового тела, то световой поток также можно вычислить по формуле (59,2), но вместо значения светового потока источника света F_0 из каталога необходимо подставить вычисленное по формуле

$$F = \frac{F_0 \sigma^2}{f_0^2},$$

где l_0 — диаметр светового тела источника света, т. е. в этом случае

$$F' = \frac{F_0 \tau \sigma^2}{16 n l_0^2}. \quad (59,3)$$

Для определения освещенности выходного зрачка объектива, и, что практически одно и то же, освещенности поверхности фотоэлемента, на которую падает параллельный пучок лучей, воспользуемся формулой (59,3). Одинаковость этих освещенностей обычно соблюдается на протяжении нескольких метров и зависит прежде всего от сферической аберрации объектива и состояния среды между объективом и фотоэлементом. Площадь выходного зрачка объектива $S_{об}$ равна

$$S_{об} = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Тогда

$$E' = \frac{\tau F_0 \sigma^2}{4 \pi f'^2 l_0^2}, \quad (59,4)$$

или

$$E' = \frac{\pi B \tau \sigma^2}{4 f'^2}. \quad (59,5)$$

Поверхность фотоэлемента S_c может быть меньше поверхности объектива, тогда световой поток, падающий на фотоэлемент, определится из выражения

$$F' = \frac{\pi B \tau \sigma^2 S_c}{4 f'^2}. \quad (59,6)$$

Реакция фотоэлемента (сила тока в амперах) на этот поток определяется из интегральной чувствительности фотоэлемента S_0 :

$$i = \frac{S_0 \pi B \tau \sigma^2 S_c}{4 f'^2} \text{ [амп]}. \quad (59,7)$$

Если же световой поток, пронизывающий отверстие диафрагмы σ , полностью доходит на фотоэлемент (например, рис. 115, в), то

$$i = \frac{S_0 \pi^2 B \tau \sigma^2}{16 n^2} \text{ [амп]}. \quad (59,8)$$

В целях надежного действия фотоэлемента необходимо следить, чтобы световой поток, вычисленный по формулам (59,1) или (59,6), по крайней мере на порядок превосходил пороговую чувствительность светоприемника.

Для предохранения от засветки рабочей поверхности светоприемника посторонним боковым светом между линзой и светоприемником задней фокальной плоскости линзы устанавливают диафрагму (рис. 115, з).

Эти формулы справедливы для коллиматоров фотоэлектрических, спектральных и сигнальных приборов, так как относительное отверстие объективов этих приборов невелико (не более 1 : 2). При определении же освещенности в параллельном пучке прожекторов, относительные отверстия которых превосходят 1 : 2, следует применять формулу Корякина

$$E = I\tau \frac{\cos^4 \frac{u'}{2}}{f'^2}, \quad (59,9)$$

где I — сила света источника света.

Автоколлиматором называется оптический прибор, образующий параллельные пучки лучей и воспринимающий эти пучки обратно. Оптическая схема автоколлиматора показана на рис. 116.

Представим себе, что в фокальной плоскости объектива находится точка предмета A . Точка A освещается каким-либо способом и становится как бы самосветящейся. Лучи от точки A выходят из объектива параллельно друг другу. Далее они падают на зеркальную поверхность и отражаются обратно. Если зеркальная поверхность расположена перпендикулярно оптической оси объектива, то лучи соберутся в фокальной плоскости объектива по другую сторону оптической оси, в точку A' на таком же расстоянии от оси, на каком точка A находилась от оси. Лучи же, вышедшие из точки O на оптической оси, соберутся снова в точке O .

Если зеркальная поверхность будет наклоняться, то изображение будет смещаться вдоль направления наклона. Величина смещения изображения будет пропорциональна половине угла наклона зеркала, т. е.

$$l' = f' \operatorname{tg} 2\varphi. \quad (59,10)$$

Автоколлимационный принцип образования изображения нашел себе применение в спектральных приборах, в оптиметрах и многих других контрольно-измерительных и юстировочных приборах (рис. 117). Характерным отличием визуальных автоколлимационных приборов является наличие *автоколлимационного окуляра*. Любой положительный окуляр можно превратить в автоколлимационный, придав ему осветительное устройство для освещения сетки. Наиболее употребительными являются системы с плоскопараллельной пластинкой, поставленной под углом 45° к оптиче-

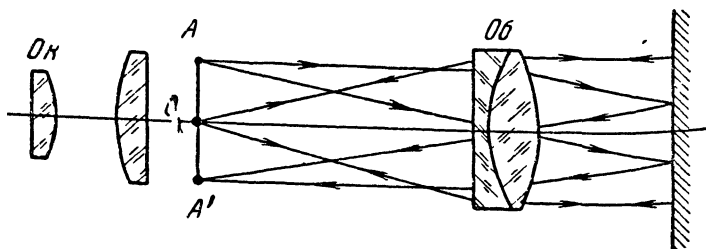


Рис. 116 Автоколлиматор

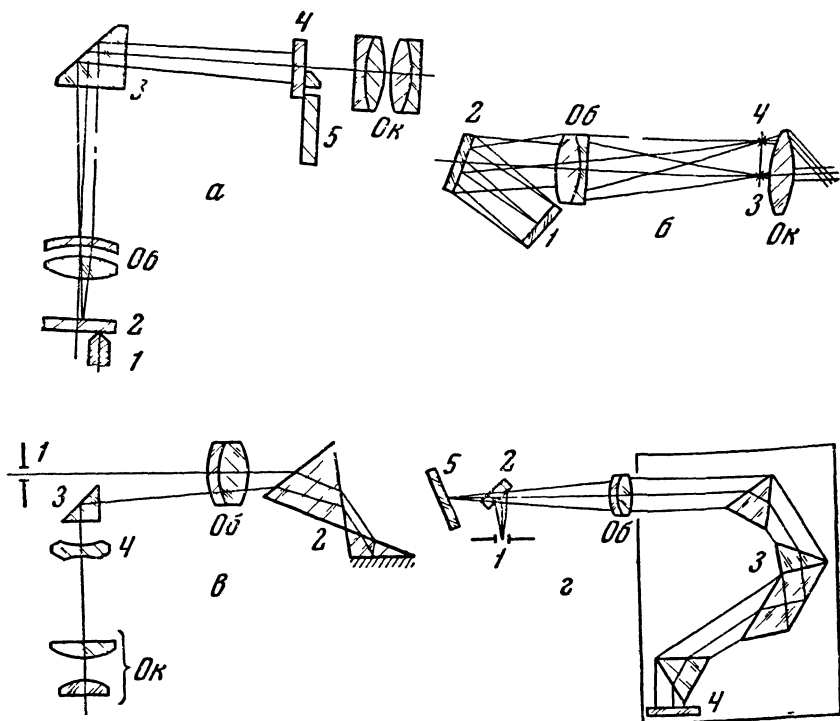


Рис 117. Оптические схемы автоколлимационных приборов:
а — оптиметр: 1 — измерительный штифт, 2 — зеркало, 3 — призма, 4 — сетка, 5 — осветительные призмы; *б* — гравитационный вариометр: 1 — неподвижное зеркало, 2 — вращающееся зеркало, 3 — источник света, 4 — изображение; *в* — стилоскоп НИИФ МГУ: 1 — щель, 2 — преломляющие призмы, 3 — призма, 4 — отрицательная линза, *г* — спектрограф Цейсса: 1 — источник света, 2 — полупереотражающее зеркало, 3 — спектральные призмы, 4 — зеркало, 5 — фотопластинка

ской оси, и с призмой, вводимой в фокальную плоскость (система Гаусса).

Допустим, что плоскопараллельная пластинка расположена между окуляром и объективом, вблизи окуляра (рис. 118) таким образом, что расстояние от освещенного предмета P до оптической оси, до точки a , равно расстоянию от этой же точки до фокальной плоскости (с учетом удлинения луча в пластинке). Тогда

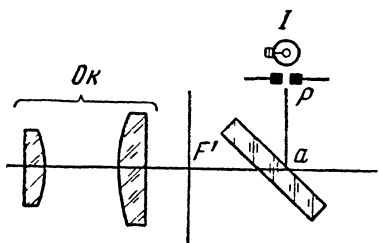


Рис. 118. Автоколлимационный окуляр с пластинкой

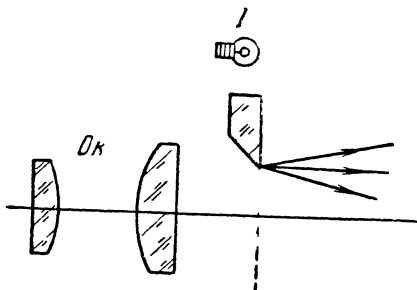


Рис. 119. Автоколлимационный окуляр с призмой

наблюдатель в окуляр увидит автоколлимационное изображение точки P . Пластинка может быть установлена и между фокальной плоскостью и коллективной линзой окуляра и даже между линзами окуляра. В этих случаях она непосредственно осветит штрихи сетки, расположенной в фокальной плоскости окуляра. Достоинством

такого типа автоколлимационного окуляра является свободное от каких-либо посторонних устройств поле зрения. Недостатком ее является слабая освещенность изображения. Для освещения используется только небольшая часть света, отраженного от полированной поверхности стекла.

Имеется возможность, закрыв часть поля зрения, в фокальную плоскость ввести узкую призму (рис. 119) и через нее осветить тот или иной штрих сетки (система Аббе). В этом случае освещенность автоколлимационного изображения будет хорошая, но зато часть поля будет закрыта призмой.

Недостатки обоих этих автоколлимационных окуляров устранены в автоколлимационных окулярах В. П. Линника и А. Н. Захарьевского. В окуляре Линника трехгранная стеклянная призма — нить толщиной 0,1—0,2 мм, приклеивается к сетке. Эта

наблюдатель в окуляр увидит автоколлимационное изображение точки P . Пластинка может быть установлена и между фокальной плоскостью и коллективной линзой окуляра и даже между линзами окуляра. В этих случаях она непосредственно осветит штрихи сетки, расположенной в фокальной плоскости окуляра. Достоинством такого типа автоколлимационного окуляра является свободное от каких-либо посторонних устройств поле зрения. Недостатком ее является слабая освещенность изображения. Для освещения используется только небольшая часть света, отраженного от полированной поверхности стекла.

Имеется возможность, закрыв часть поля зрения, в фокальную плоскость ввести узкую призму (рис. 119) и через нее осветить тот или иной штрих сетки (система Аббе). В этом случае освещенность автоколлимационного изображения будет хорошая, но зато часть поля будет закрыта призмой.

Недостатки обоих этих автоколлимационных окуляров устранены в автоколлимационных окулярах В. П. Линника и А. Н. Захарьевского. В окуляре Линника трехгранная стеклянная призма — нить толщиной 0,1—0,2 мм, приклеивается к сетке. Эта

нить одновременно является и штрихом сетки и освещенным предметом в плоскости сетки, так как грань нитевидной призмы освещается сбоку источником света. Автоколлимационный окуляр Захарьевского имеет две прямоугольные призмы (рис. 120) с углами 40° и 50° . Поверхности ab и cd посеребрены. Фокальные плоскости объектива и окуляра совмещены и расположены в плоскости ab . На поверхности ab процарапан штрих K и сзади освещен источником света. Тогда его автоколлимационное изображение будет в K' .

Объективы коллиматоров и автоколлиматоров характеризуются фокусным расстоянием и диаметром входного зрачка (световым отверстием). Объективы коллиматоров должны быть тщательно исправлены на сферическую и хроматическую аберрации. Эти аберрации нарушают параллельность выхода лучей из объектива. Чтобы избежать влияния сферической аберрации, объективы коллиматоров применяют с малым относительным отверстием, например: $1:12$, $1:15$ и $1:20$. А так как диаметры отверстий должны быть часто значительны, то объективы коллиматоров обычно имеют большие значения фокусных расстояний. Фокусные расстояния объективов коллиматоров достигают 5 и более метров. В приборах часто применяют объективы с фокусными расстояниями 400—600 мм. Преобладающее число объективов коллиматоров и автоколлиматоров состоит из двух линз, составляющих ахроматический объектив. Линзы объектива разделяются воздушным промежутком, если диаметр линз превосходит 60 мм.

Пример 29. Определить необходимый световой поток электролампы фотореле, если фотоэлемент имеет площадь 4 см^2 и для него необходим световой поток в $0,1 \text{ лм}$. Коэффициент пропускания света $0,78$, а фокусное расстояние объектива коллиматора фотореле $f' = 90 \text{ мм}$.

Решение. Определим необходимую освещенность фотоэлемента по формуле (24,7), имея в виду, что $F = 0,1 \text{ лм}$, а $S_c = 0,0004 \text{ м}^2$:

$$E' = \frac{F}{S_c} = 250 \text{ лк.}$$

Затем определим необходимый световой поток по формуле (59,4), в которой полагаем $\sigma = I_0$, а $f' = 0,09 \text{ м}$:

$$F_0 = \frac{4\pi f'^2 E'}{\tau} = 32,5 \text{ лм.}$$

Такой характеристике соответствует лампа для сигналов 6 в , 4 вт , имеющая световой поток 35 лм .