

конечности, на оба глаза падают параллельные между собой лучи, создающие изображения в одинаковых местах сетчаток).

На изображение ромбика наложится изображение рассматриваемого нами в дальномер предмета. Так как от этого предмета в дальномер входят не параллельные между собой лучи (в *A* и *B*, на рис. 33), нам он будет казаться находящимся на расстоянии, более близком, чем ромбик. При помощи компенсатора мы можем скомпенсировать внутри дальномера непараллельность лучей, идущих

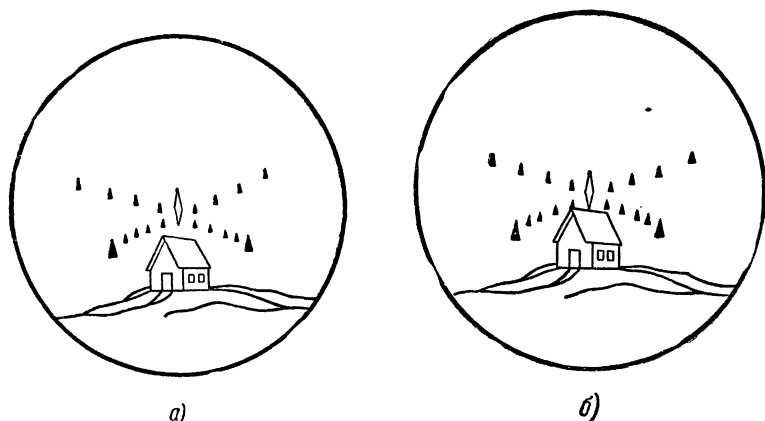


Рис. 34. Поле зрения дальномера.

от предмета, тогда предмет будет казаться находящимся в бесконечности, как и ромбик, т. е. и предмет, и ромбики будут казаться лежащими в одной плоскости. По повороту компенсатора мы можем судить о том, какой угол пришлось скомпенсировать, т. е. чему равно расстояние до предмета.

Интересно отметить, что при этом кажется, что перемещается ромбик, а не изображение предмета. Кроме ромбика в поле зрения наносят еще ряд меток, соответствующих конечным расстояниям.

Наряду с биноклярными применяются и монокулярные дальномеры для наблюдения одним глазом. В таком дальномере в поле зрения получают два изображения, расположенных друг над другом и даваемых двумя объективами, раздвинутыми на большое расстояние. Компенсируя смещение этих изображений, можно также определить расстояния до предметов.

### § 13. Фотоаппарат и проекционный аппарат

Перейдем к рассмотрению оптических приборов, применяемых не в сочетании с глазом. Эти приборы обычно служат для получения изображений на каких-либо экранах. Такими экранами могут быть обычные киноэкраны, облака, фотопластинки, киноплёнки и т. д.

Начнем с обычного фотоаппарата (рис. 35). Устройство *фотокамеры* в известном смысле сходно с устройством глаза. Основными частями является объектив, ирисовая диафрагма, затвор и кассета с фотопластинкой. Объектив аналогичен хрусталику, ирисовая диафрагма, плавно меняющая входное отверстие камеры, — зрачку, затвор — веку и фотопластинка — сетчатке глаза. Однако в отличие от хрусталика глаза объектив фотокамеры имеет постоянное

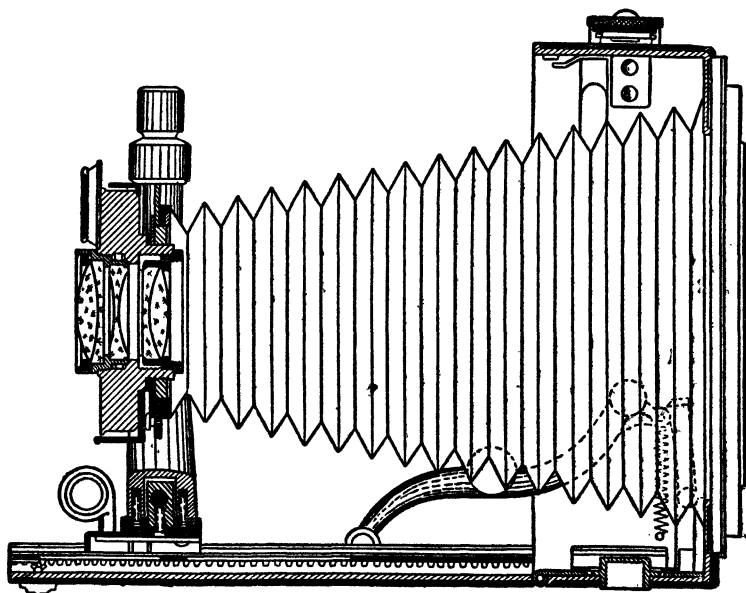


Рис. 35. Фотоаппарат.

фокусное расстояние. Поэтому для получения четких изображений предметов на фотопластинке приходится изменять расстояние между объективом и фотопластинкой — фокусировать фотокамеру.

Важно отметить, что в фотоаппарате обычно получается плоское изображение объектов, имеющих три измерения.

Ясно, что одновременно нельзя получить одинаково четкие изображения предметов, находящихся на разных расстояниях от фотокамеры.

Если расстояние от фокуса объектива до фотопластинки равно  $a_2$  и фокусное расстояние объектива  $f$ , то, согласно формуле (9) § 10, на фотопластинке получится четкое изображение предметов, лежащих в плоскости, находящейся на расстоянии  $a_1$  от переднего

фокуса фотокамеры (плоскость наводки):

$$a_1 = \frac{f^2}{a_2}.$$

Предметы, лежащие как ближе, так и дальше этой плоскости, дадут уже нерезкие изображения.

На рис. 36 пунктиром показан ход лучей, идущих от точки, лежащей дальше плоскости наводки. Эти лучи пересекутся, не доходя до фотопластинки, и дадут на ней изображение в виде кружка,

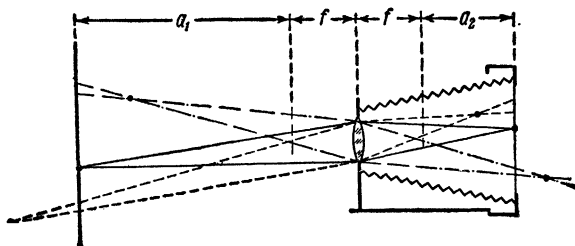


Рис. 36. Плоскость наводки.

диаметр которого будет тем больше, чем больше диаметр объектива и чем больше расстояние  $da_2$  от точки пересечения лучей до фотопластинки.

Из формулы (12) для продольного увеличения (§ 10) следует, что  $da_2$  зависит от смещения предмета  $da_1$ , фокусного расстояния объектива  $f$  и расстояния до предмета  $a_1$ :

$$da_2 = -da_1 \frac{f^2}{a_1^2}.$$

Приведенная формула показывает, что смещение предмета из плоскости наводки оказывается тем меньше, чем меньше фокусное расстояние объектива и чем дальше плоскость наводки.

Чем меньше сказывается смещение предмета на резкости изображения, тем большей *глубиной* обладает фотокамера. Практически удается получать одновременно изображения достаточной резкости для предметов, лежащих на весьма заметно разнящихся расстояниях. При этом, согласно сказанному выше, полезно уменьшать диаметр отверстия объектива, что достигается при помощи соответствующей раздвижной диафрагмы (ирисовая диафрагма).

Предметы, находящиеся на достаточно больших расстояниях, дают изображения, лежащие практически в фокальной плоскости объектива. Так как, согласно формуле (10) § 10, величина изображения обратно пропорциональна расстоянию до предмета, то изображения в этих случаях получаются очень мелкими. Чтобы увеличить

размер изображения, надо, согласно той же формуле, увеличить фокусное расстояние объектива: величина изображения будет просто пропорциональна фокусному расстоянию объектива. Однако при увеличении фокусного расстояния в обычных объективах увеличивается расстояние между фотопластинкой и объективом, т. е. растут размеры фотокамеры и она становится громоздкой.

Это затруднение устраняется применением *телеобъективов*. У телеобъективов расстояние между объективом и фотопластинкой значительно меньше фокусного расстояния. На рис. 37 дана схема простого телеобъектива.

Если на объектив  $O_1$  падает параллельный пучок, то преломленные лучи соберутся в главном фокусе  $F_2$ . Продолжив в обратном направлении преломленный луч  $QF_2$  до пересечения с падающим лучом  $SP$ , найдем положение главной плоскости изображений  $h_2 f_2$  (ср. с рис. 21).

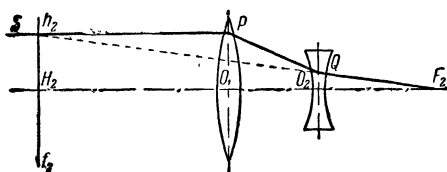


Рис. 37. Телеобъектив.

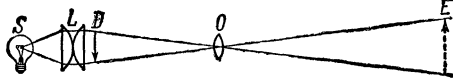
Мы видим, что в телеобъективе главная плоскость лежит далеко впереди самого объек-

тива. Таким образом, действительно фокусное расстояние  $F_2 h_2$  значительно больше расстояния  $F_2 O_2$  от фокуса до объектива. Обычно одно расстояние больше другого раза в три.

Киносъёмочный аппарат служит, как известно, для получения большого числа последовательных мгновенных фотографий (кадров) движущихся объектов. В момент фотографирования каждого кадра киноплёнка должна, конечно, покоиться, а затем рывком передвигаться для фотографирования следующего кадра. Такое прерывистое движение киноплёнки достигается при помощи специального механического приспособления, называемого *мальтийским крестом*. Число кадров, снимаемых в секунду, равно 24, что представляет мировой стандарт. Объектив киносъёмочного аппарата должен периодически открываться только во время экспозиции кадра и закрываться на время передвижения киноплёнки. Для этой цели служит вращающаяся заслонка, называемая *обтюратором*. В остальном киносъёмочная камера ничем в принципе не отличается от обычного фотографического аппарата. В настоящее время получили распространение для научных исследований так называемые *лупы времени* — киносъёмочные аппараты, делающие огромное число снимков в секунду. Снятый фильм затем демонстрируется с нормальным числом кадров в секунду. При помощи лупы времени можно исследовать весьма быстрое движение различных машин и других объектов.

Устройство для проектирования на экран — *проекторный аппарат* — весьма напоминает фотоаппарат.

Прозрачный рисунок — диапозитив  $D$  (рис. 38) — помещают перед осветительной линзой (конденсором)  $L$ . Изображение яркой лампы  $S$  сфокусировано на объективе  $O$ , который в свою очередь установлен на таком расстоянии от диапозитива, что на экране  $E$  получается резкое изображение диапозитива. Такое расположение дает наиболее выгодное использование света лампы  $S$ , так как весь свет, падающий на конденсор  $L$ , участвует в образовании изображения на экране.



В кинопроекционном аппарате вместо диапозитива перемещается кинолента, так же как при съемке. Лента перемещается рывками, причем в моменты перемещения ленты объектив закрывается непрозрачным вращающимся диском. Благодаря инерционности глаза изображения последовательных снимков движущихся предметов сливаются в одно движущееся изображение.

Рис. 38. Схема проекционного аппарата.

## § 14. Принцип Ферма

До сих пор мы рассматривали все соотношения геометрической оптики и законы действия оптических инструментов как следствие основных законов отражения и преломления света, сформулированных в § 8.

Однако, как показал около 300 лет назад Ферма, эти основные законы могут быть в свою очередь выведены из одного более общего принципа. Принцип Ферма утверждает, что *свет распространяется по такому пути, при котором время, необходимое для прохождения света от одной точки до другой, имеет наименьшее или наибольшее значение (экстремум)*<sup>1)</sup>.

Ферма считал свой принцип проявлением еще более общего принципа целесообразности: «природа всегда придерживается кратчайшего пути». Такое телеологическое толкование принципа Ферма было широко распространено в XVII и XVIII вв. и использовалось для доказательства существования бога. Однако, кроме всего прочего, такой трактовке резко противоречат все случаи, соответствующие *наибольшему* времени. Ниже (§ 25) показано, что принцип Ферма является просто одним из следствий волновой природы света, но справедлив только в области применимости методов геометрической оптики.

Если тело имеет показатель преломления  $n_1$ , то скорость света в этом теле равна  $v_1 = \frac{c}{n_1}$ , где  $c$  — скорость света в пустоте. Поэтому

<sup>1)</sup> От лат. extremum — крайнее.