

## Разные оптические системы

В задачах данного листка фигурируют комбинации оптических систем, рассмотренных в предыдущих листках.

**ЗАДАЧА 1.** (*Всеросс., 2007, ОЭ, 9*) Две одинаковые собирающие тонкие линзы  $L_1$  и  $L_2$  с фокусным расстоянием  $F$  каждая расположены на расстоянии  $l$  друг от друга ( $l > 2F$ ). Линзу  $L_3$  с каким фокусным расстоянием  $F'$  следует поставить посередине между линзами  $L_1$  и  $L_2$ , чтобы любой луч, падающий на оптическую систему под малым углом к главной оптической оси, выходил бы из неё параллельно своему первоначальному направлению? Главные оптические оси всех трёх линз совпадают.

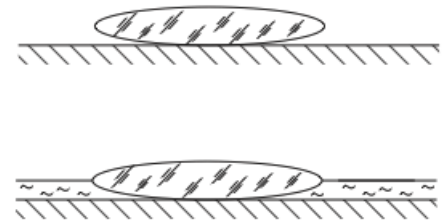
$$\frac{1}{F'} = \frac{1}{l - F}$$

**ЗАДАЧА 2.** (*Всеросс., 2001, финал, 10*) На поверхности плоского зеркала лежит тонкая симметричная двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием  $F_0 = 8$  см (рис.).

1) Где будет находиться изображение точечного источника, помещенного на расстоянии  $l_1 = F_0$  от линзы?

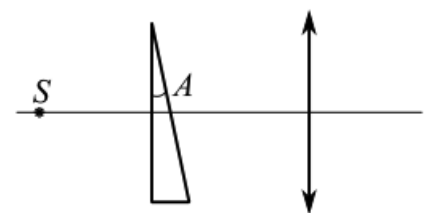
2) На поверхность зеркала наливают воду так, что уровень воды совпадает с плоскостью симметрии линзы. Если теперь точечный источник поместить на расстоянии  $l_2 = 12$  см от линзы, то его изображение совпадёт с самим источником. На каком расстоянии от линзы нужно расположить точечный источник, чтобы его изображение совпало с ним самим, если долить воды так, чтобы она полностью скрыла линзу?

*Примечание.* Оптические силы тонких линз, расположенных вплотную друг к другу, складываются.



$$1) \text{ Совпадает с источником; } 2) l_3 = \frac{l_2 F_0}{l_2 F_0 - l_2} = 24 \text{ см}$$

**ЗАДАЧА 3.** (*«Физтех», 2017, 11*) Тонкая линза с фокусным расстоянием  $F = 20$  см создаёт действительное изображение точечного источника света  $S$ , находящегося на главной оптической оси на расстоянии  $d = 60$  см от линзы. Между источником и линзой на расстоянии  $L = 30$  см от линзы помещают (см. рис.) тонкую стеклянную призму с малым преломляющим углом  $A = 0,04$  радиан при вершине. Призма изготовлена из стекла с показателем преломления  $n = 1,5$ .



1) Найти расстояние  $f$  между линзой и изображением до помещения призмы.

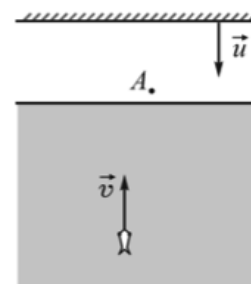
2) На какой угол  $\delta$  отклонится после прохождения призмы луч, идущий от источника вдоль главной оптической оси линзы?

3) Найти смещение изображения после помещения призмы.

Указание: при малых углах  $\alpha$  справедливо  $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$ .

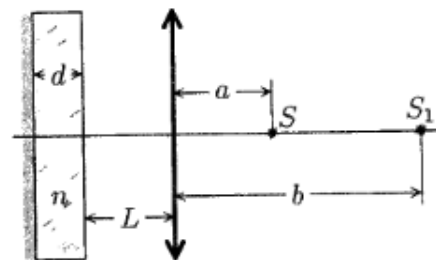
$$1) f = \frac{d-p}{1 - \frac{d-p}{F}} = n \delta \text{ (рад)}; 2) \delta = A(1 - n) = 0,04 \text{ рад}; 3) \Delta x = \frac{d-p}{F} = f$$

ЗАДАЧА 4. («Курчатов», 2015, 11) Маленькая рыбка плавёт к стенке аквариума со скоростью  $v$ . Параллельно стенке аквариума расположено плоское зеркало, которое перемещается со скоростью  $u$  в сторону аквариума (см. рисунок). Чему равна скорость изображения рыбки в зеркале с точки зрения наблюдателя, находящегося в точке  $A$ , и с точки зрения рыбки? Показатель преломления воды  $n$ , стенки аквариума тонкие и прозрачные.



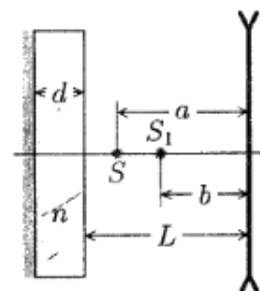
$$(a + nu)z = za : \frac{u}{a} + n = 1a$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 2002) Оптическая система, состоящая из собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 20$  см и плоского зеркала в форме посеребрённой с одной стороны плоскопараллельной пластинки толщиной  $d = 6$  см с показателем преломления  $n = 1,5$ , создаёт действительное изображение точечного источника света  $S$ , расположенного на главной оптической оси линзы. Расстояние от источника  $S$  до линзы равно  $a = 3F/5$ , а от изображения  $S_1$ , даваемого системой, до линзы —  $b = 3F/2$  (см. рисунок). Найти расстояние  $L$  от линзы до зеркала. Отражением от передней поверхности пластинки пренебречь.



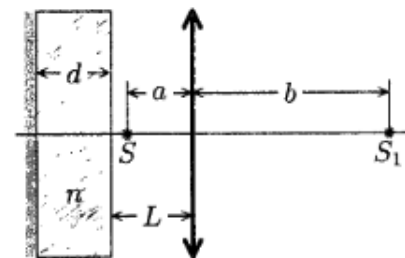
$$\text{№ 11} = \frac{u}{p} - \frac{v}{FE} = 7$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 2002) Оптическая система, состоящая из рассеивающей линзы и плоского зеркала в форме посеребрённой с одной стороны плоскопараллельной пластинки толщиной  $d = 3$  см с показателем преломления  $n = 1,5$ , создаёт мнимое изображение (после отражения от зеркала и прохождения линзы) точечного источника света  $S$ , расположенного на главной оптической оси линзы. Найти фокусное расстояние линзы  $F$ , если расстояние от источника света до линзы равно  $a = F$ , а от изображения  $S_1$ , даваемого системой, до линзы —  $b = 2F/3$  (см. рисунок). Расстояние между линзой и зеркалом  $L = 10$  см. Отражением от передней поверхности пластинки пренебречь.



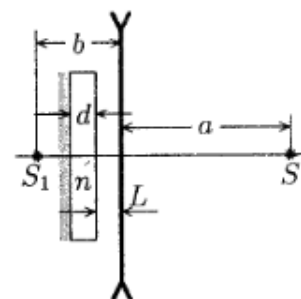
$$\text{№ 8} = \left(\frac{u}{p} + 7\right) \frac{z}{z} = 4$$

Задача 7. (МФТИ, 2002) Оптическая система, состоящая из собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 12$  см и плоского зеркала в форме посеребрённой с одной стороны плоскопараллельной пластинки толщиной  $d = 9$  см, создаёт действительное изображение (после отражения от зеркала и прохождения линзы) точечного источника света  $S$ , расположенного на главной оптической оси линзы между линзой и зеркалом (см. рисунок). Расстояние от источника до линзы равно  $a = 2F/3$ , а от изображения  $S_1$ , даваемого системой, до линзы —  $b = 2F$ . Найти показатель преломления пластинки  $n$ . Расстояние между линзой и зеркалом  $L = 10$  см. Отражением от передней поверхности пластинки пренебречь.



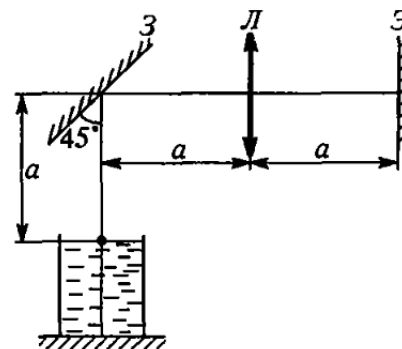
$$q'1 = \frac{7\varepsilon - d\varepsilon}{p\varepsilon} = u$$

Задача 8. (МФТИ, 2002) Оптическая система, состоящая из рассеивающей линзы с фокусным расстоянием  $F = -20$  см и плоского зеркала в форме посеребрённой с одной стороны плоскопараллельной пластинки с показателем преломления  $n = 1,5$ , создаёт мнимое изображение точечного источника света  $S$ , расположенного на главной оптической оси линзы (см. рисунок). Расстояние от источника  $S$  до линзы равно  $a = |F|$ , а от изображения  $S_1$ , даваемого системой, до линзы —  $b = |F|/2$ . Найти толщину зеркальной пластинки. Расстояние между линзой и зеркалом  $L = 3$  см. Отражением от передней поверхности пластинки пренебречь.



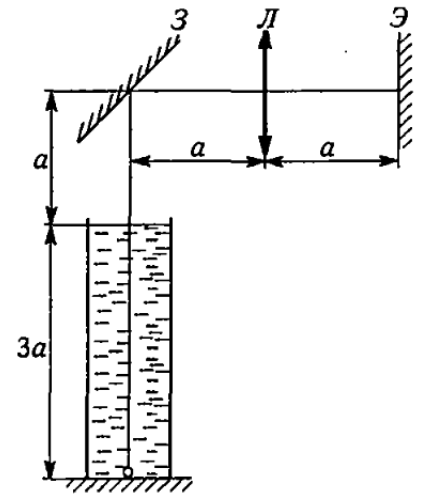
$$\text{но } \varepsilon = \left(7 - \frac{7}{|F|}\right) u = p$$

Задача 9. (МФТИ, 1995) С помощью оптической схемы, состоящей из плоского зеркала  $Z$  (под углом  $45^\circ$  к горизонту), положительной линзы  $L$  и экрана  $\mathcal{E}$ , наблюдают за падением маленьких шариков в сосуде с прозрачной жидкостью, показатель преломления которой  $n = 1,5$  (см. рисунок). В начальный момент на экране наблюдается изображение поверхности жидкости и неподвижного шарика. Затем линзу перемещают направо вдоль главной оптической оси на расстояние  $\delta = 2$  см и отпускают шарик. Через время  $\tau = 5$  с на экране появляется резкое изображение шарика. Полагая, что шарик падает с постоянной скоростью  $u$ , определить её величину. Расстояние  $a = 30$  см.



$$u = \frac{3n\delta(a+\delta)}{(a-3\delta)\tau} = 2,4 \text{ cm/s}$$

Задача 10. (МФТИ, 1995) С помощью оптической схемы, состоящей из плоского зеркала  $Z$  (под углом  $45^\circ$  к горизонту), положительной линзы  $L$  и экрана  $\mathcal{E}$ , наблюдают за всплытием маленьких пузырьков воздуха в сосуде с жидкостью, показатель преломления которой  $n = 1,5$  (см. рисунок). В начальный момент на экране наблюдается изображение дна сосуда и неподвижного пузырька. Затем линзу перемещают влево вдоль главной оптической оси на расстояние  $\Delta = 1$  см. Через время  $\tau = 3$  с после отрыва пузырька на экране вновь появляется его резкое изображение. Полагая, что пузырёк всё время движется с постоянной скоростью  $u$ , определить её величину. Расстояние  $a = 20$  см.



$$c/\lambda_0 \sin \theta = n$$