

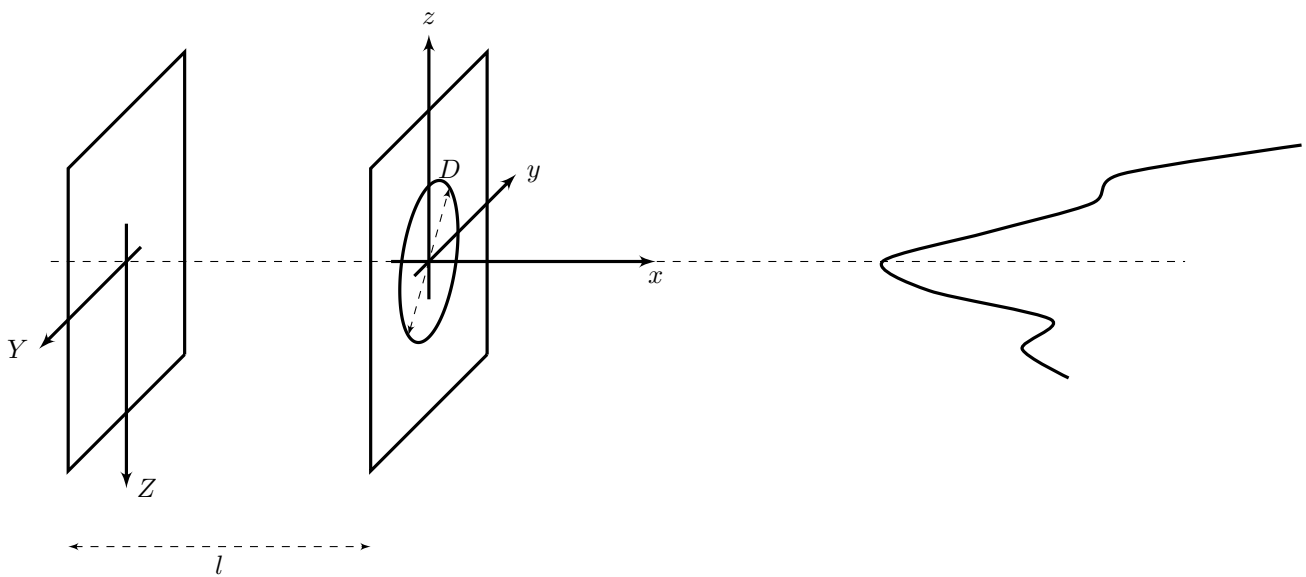
Road to IPhO

Проблемы фотографирования (8 баллов)

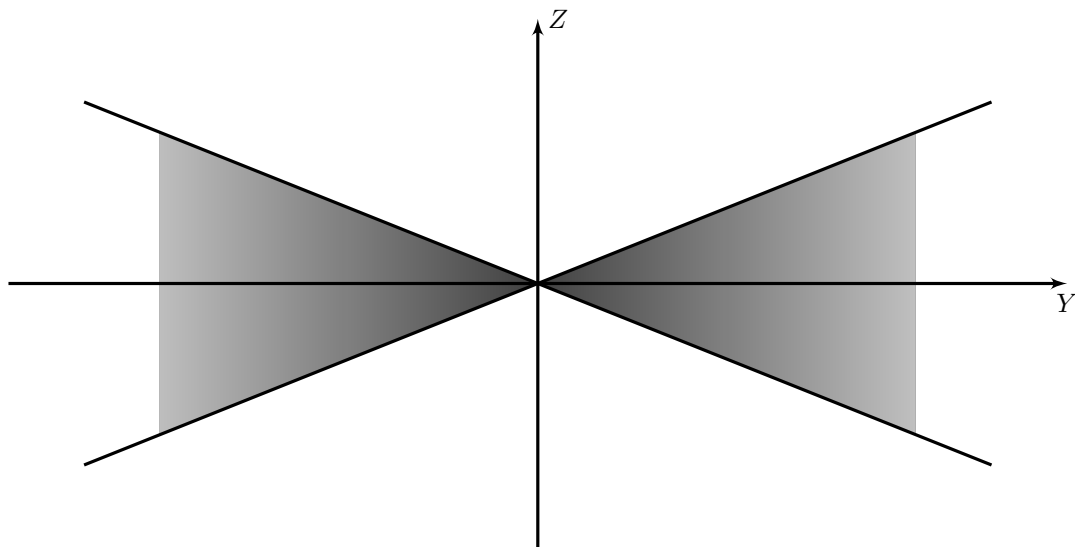
Эта задача состоит из трёх независимых частей, объединённых общей темой: каждая из них посвящена конкретной проблеме, с которой можно столкнуться при фотографировании. Постарайтесь понять физику, стоящую за этими эффектами, и ответить на поставленные вопросы.

Часть А. Расфокусировка (2.0 балла)

На рисунке изображена камера, фотографирующая тонкую проволоку. Она состоит из двух плоскостей: передняя плоскость содержит в себе идеальную тонкую собирающую круглую линзу с фокусным расстоянием f и диаметром D , задняя плоскость является экраном. Расстояние между плоскостями l . Фотография – перевёрнутое изображение, полученное на экране, поэтому введём системы координат как указано на рисунке: xyz описывает положение объекта в пространстве, а YZ – положение изображения на фотографии.



Изображение тонкой проволоки, полученное этой камерой, ограничено сверху и снизу прямыми $Z = \pm kY$, где $k > 0$ и не ограничено в обе стороны вдоль оси Y .



A1 Найдите положение и форму проволоки, если её длина минимальна.

2.0

Road to IPhO

Часть В. Роллинг-шаттер (3.0 балла)

При фотографировании быстро движущихся объектов может возникать искажение изображения, связанное с неодновременностью считывания разных участков фотографии. Этот эффект получил название временной параллакс или роллинг-шаттер. Обычно считывание происходит построчно. Будем считать, что в нашей камере снимок регистрируется начиная с верхней части, все строки снимаются за одинаковое и крайне малое время, поэтому искажения отдельных строк учитывать не нужно. Известно, что полное время, уходящее на фотографирование, равно 10 мс. С помощью направленной вертикально вниз камеры сфотографировали шайбу диаметром 7.62 см, скользящую по гладкой горизонтальной поверхности.

В1 Используя циркуль и линейку без делений, постройте в листах ответов прямую, параллельную направлению скорости шайбы. Для удобства вам предоставлено два дополнительных идентичных листа с фотографией. В случае порчи или затупления циркуля новый выдаваться не будет! **2.0**

В2 Используя дополнительно линейку с делениями, найдите модуль скорости шайбы. **1.0**

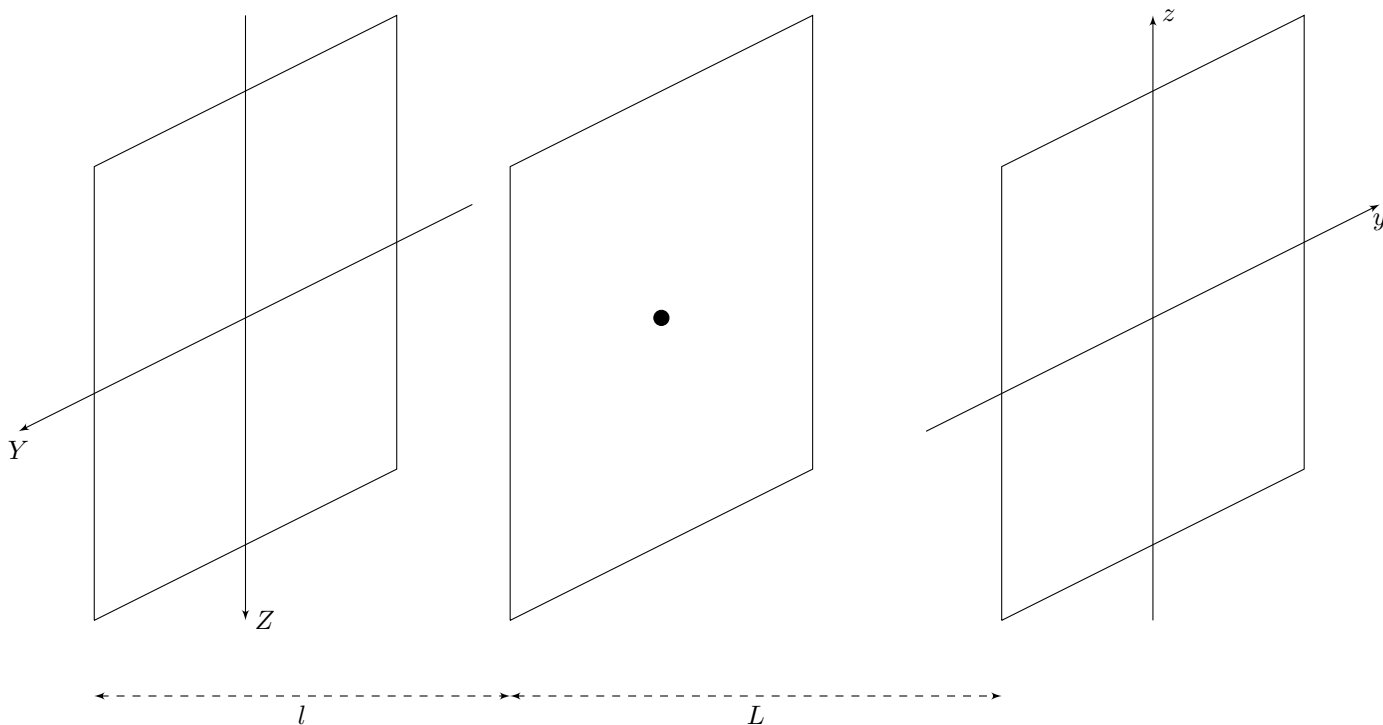
Часть С. Дисторсия (3.0 балла)

Рассмотрим фотографирование плоского экрана. Введём координаты на экране и на фотографии (y, z) и (Y, Z) соответственно. Для реалистичной передачи изображений на экране нужно, чтобы коэффициент линейного увеличения был постоянен на всей фотографии, то есть:

$$\vec{R} = \alpha \vec{r}, \quad \text{где: } \vec{r} = (y, z); \quad \vec{R} = (Y, Z).$$

Рассмотрим простейшую камеру-обскуру. Она представляет собой два параллельных экрана, в одном из которых проделано малое отверстие. Свет, проходящий через это отверстие, формирует изображение на втором экране. Изображение любой точки пространства будет находится в месте пересечения луча, идущего из этой точки через отверстие, и экрана.

Расстояние между плоскостью фотографии и отверстием обозначим l , а расстояние между камерой и фотографируемым экраном L .



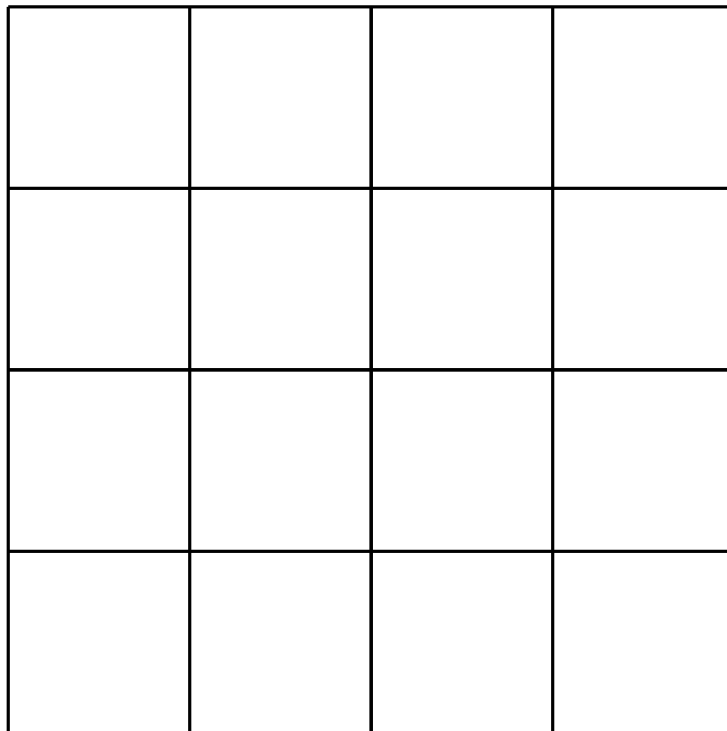
С1 Покажите, что линейное увеличение камеры-обскуры постоянно и найдите α . **0.5**

Road to IPhO

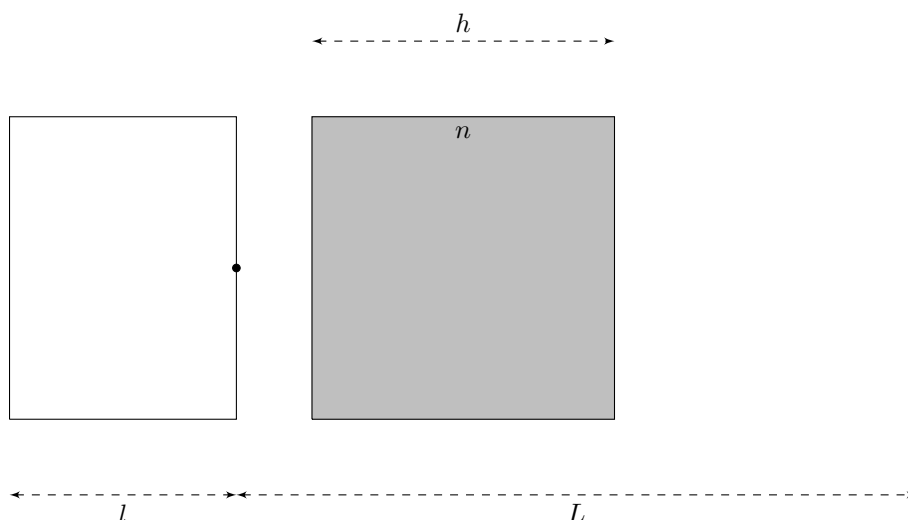
В большинстве случаев свойство линейности нарушается и наблюдается эффект дисторсии, то есть увеличение разное в разных точках фотографии. Рассмотрим дисторсию третьего порядка параксиальных лучей:

$$\vec{R} = f(r)\vec{r} \approx \alpha\vec{r} + \beta r^2\vec{r}.$$

C2 Нарисуйте качественный вид фотографии части тетрадного листа, изображённой на рисунке ниже, в случаях $\beta > 0$ (положительная дисторсия) и $\beta < 0$ (отрицательная дисторсия). Считайте, что $\alpha > 0$. **0.5**



Опять рассмотрим камеру-обскуру. Пусть в этот раз между камерой и экраном находится плоский аквариум толщины h , заполненный жидкостью с показателем преломления n . Остальное пространство заполнено воздухом с показателем преломления $n_0 = 1$.



C3 Определите коэффициенты α и β в этом случае. Какая дисторсия наблюдается в такой системе: положительная (α и β одного знака) или отрицательная (α и β разных знаков)? **2.0**