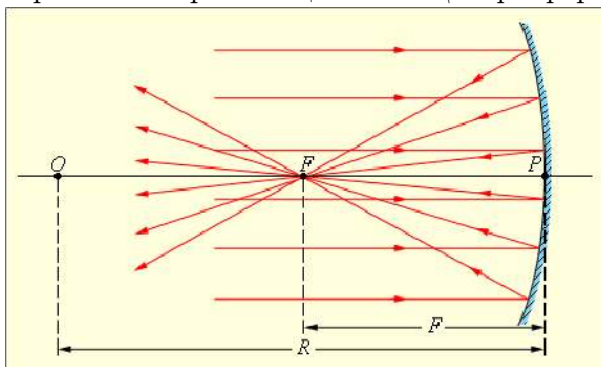


Сферическая абберация

Условие

Задача 10-2 Сферическое зеркало.

«Сферическая абберация» Вогнутое зеркало, широко используемое при астрономических и оптических наблюдениях, представляет собой сферический сегмент (небольшая часть сферы, отсечённая плоскостью) радиуса R , на внутреннюю поверхность которого нанесено покрытие, зеркально отражающее свет. Центр сферы находится в точке O (см. рис.).



При построении изображений в вогнутом зеркале традиционно считается, что пучок параллельных лучей, распространяющихся вблизи главной оптической оси OP зеркала (т.н. параксиальных лучей), после отражения от зеркала пересекается в точке главного фокуса F на расстоянии PF от линзы (далее F). Данное свойство вогнутого зеркала аналогично свойству собирающей линзы, поэтому иногда вогнутое зеркало называют собирающим зеркалом. Математически параксиальное приближение соответствует приближению малых углов, в рамках которого применимы приближенные формулы

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha \quad \cos \alpha \approx 1. \quad (1)$$

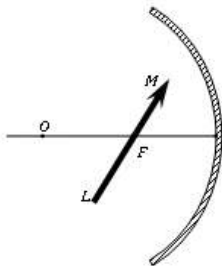
Часть 1. «Классическая – параксиальное приближение»

Рассмотрим пучок лучей, распространяющихся вблизи оптической оси ($h \ll R$) вогнутого зеркала параллельно ей. Радиус кривизны зеркала $R = 40\text{см}$.

1.1 Докажите, что все лучи идущие параллельно оптической оси после отражения от зеркала пересекаются в одной точке. Найдите фокусное расстояние зеркала.

1.2 Точечный источник света находится на оптической оси зеркала на расстоянии a ($a > R$). Докажите, что все лучи выходящие от источника и отраженные от зеркала пересекаются в одной точке (т.е. формируют изображение). Найдите расстояние b от этой точки до оптического центра зеркала точки P .

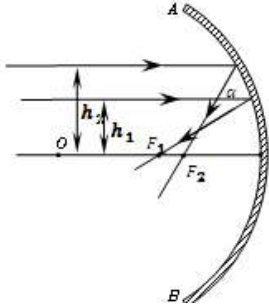
1.3 Постройте изображение предмета (стрелки) в вогнутом зеркале (см. рис.) Длина стрелки равна половине фокусного расстояния.



Часть 2. «Абберационная ... дальние лучи»

Явление сферической аберрации² заключается в том, что два луча параллельных главной оптической оси зеркала, идущие на достаточно больших различных расстояниях h_1 и h_2 от неё, всё же пересекутся с осью не в одной, а в различных точках (фокусах) F_1 и F_2 (см. рис.). То есть, говоря «абсолютно строго», главного единого фокуса вогнутого зеркала не существует! Но поскольку изображение, несколько искажённое у краёв, в таком зеркале мы всё же видим, то сильно беспокоиться по этому поводу не нужно.

Во второй части задачи рассмотрим световые лучи, подверженные явлению сферической аберрации, т.е. не являющиеся параксиальными.



2 2

Математически это означает, что эти лучи идут также параллельно главной оптической оси зеркала на расстоянии, которое сравнимо с радиусом кривизны зеркала. В этом случае углы падения нельзя считать малыми.

2.1 На зеркало падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси и полностью освещающий зеркало. Нарисуйте схематически ход этих лучей после отражения от зеркала. Нарисуйте схематически огибающую отраженных лучей.

2.2 Световой луч распространяется параллельно оси зеркала на расстоянии $h_1 = 5,0$ см от оптической оси зеркала. На каком расстоянии F_1 он пересечёт оптическую ось зеркала (это и есть «его» фокусное расстояние)?

2.3 Введем понятие степени аберрации луча как отношение $\eta = \frac{|F_1 - F_0|}{F_0}$ (F_0 — фокусное расстояние в параксиальном приближении). При каком расстоянии $h_{\max}$ степень аберрации достигнет 100%? Нарисуйте ход этого луча.

² Слово аберрация означает искажение.