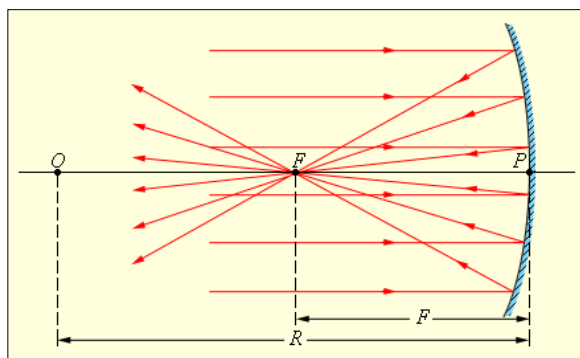


## Задача 10-2 Сферическое зеркало.

**«Сферическая аберрация»** 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

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha \quad \cos \alpha \approx 1. \quad (1)$$

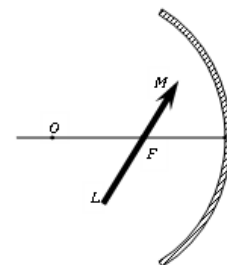
### Часть 1. «Классическая – параксиальное приближение»

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  $P$ .

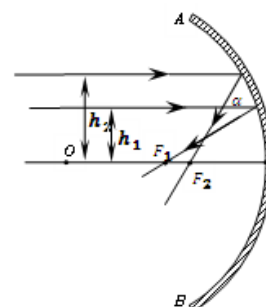
1.3 Постройте изображение предмета (стрелки) в вогнутом зеркале (см. рис.) Длина стрелки равна половине фокусного расстояния.



### Часть 2. «Аберрационная ...дальние лучи»

Явление сферической аберрации<sup>2</sup> 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.



<sup>2</sup> Слово аберрация означает искажение.

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  $h_1 = 5,0 \text{ см}$  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 aberrации луча как отношение  $\eta = \frac{|F_1 - F_0|}{F_0}$  ( $F_0$  - фокусное расстояние в параксиальном приближении). При каком расстоянии  $h_{\max}$  степень aberrации достигнет 100%? Нарисуйте ход этого луча.