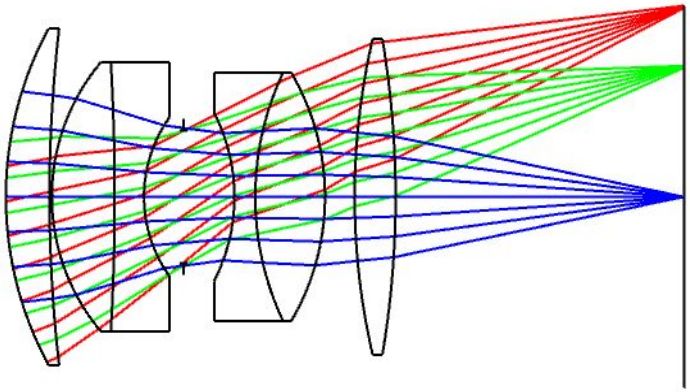
# Оптические измерения

## Измерение характеристик оптических приборов

Методы измерения фокусных расстояний

# Фокусное расстояние объектива

| | Surface Type | Radius | Thickness | | Material | Clear Semi-Dia | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | OBJECT Standard | Infinity | Infinity | | | 0.0000000 | |
| 1 | (aper) Standard | 84.0155797 | 10.6680000 | | SK16 | 40.6400000 | U |
| 2 | (aper) Standard | 351.0864195 | 0.5842000 | | | 40.6400000 | U |
| 3 | (aper) Standard | 49.8475000 | 15.3670000 | | SK16 | 32.5120000 | U |
| 4 | (aper) Standard | -562.4220413 | 7.1882000 | | LF5 | 32.5120000 | U |
| 5 | (aper) Standard | 32.4789799 | 9.6520000 | | | 19.0500000 | U |
| 6 | STOP Standard | Infinity | 12.4714000 | | | 16.0020000 | U |
| 7 | (aper) Standard | -43.9191401 | 5.1054000 | | LF5 | 20.3200000 | U |
| 8 | (aper) Standard | 69.1972201 | 17.0688000 | | SSK4A | 29.9720000 | U |
| 9 | (aper) Standard | -58.3057000 | 7.2644000 | | | 29.9720000 | U |
| 10 | (aper) Standard | 166.9542005 | 10.0076000 | | SK16 | 38.1000000 | U |
| 11 | (aper) Standard | -225.9355391 | 71.0015291 | M | | 38.1000000 | U |
| 12 | IMAGE Standard | Infinity | - | | | 0.1050058 | |



3: Prescription Data

Settings

| | | |
|---|---|---|
| Effective Focal Length | : | 127.0327 |
| Effective Focal Length | : | 127.0327 |
| Back Focal Length | : | 71.00153 |
| Total Track | : | 166.3785 |
| Image Space F/# | : | 2.500643 |
| Paraxial Working F/# | : | 2.500643 |
| Working F/# | : | 2.485151 |
| Image Space NA | : | 0.1960677 |
| Object Space NA | : | 2.54e-09 |
| Stop Radius | : | 16.6151 |
| Paraxial Image Height | : | 0 |
| Paraxial Magnification | : | 0 |
| Entrance Pupil Diameter | : | 50.8 |
| Entrance Pupil Position | : | 49.6453 |
| Exit Pupil Diameter | : | 53.67265 |
| Exit Pupil Position | : | -134.2161 |

2: Cardinal Point Data

Settings 3 x 4

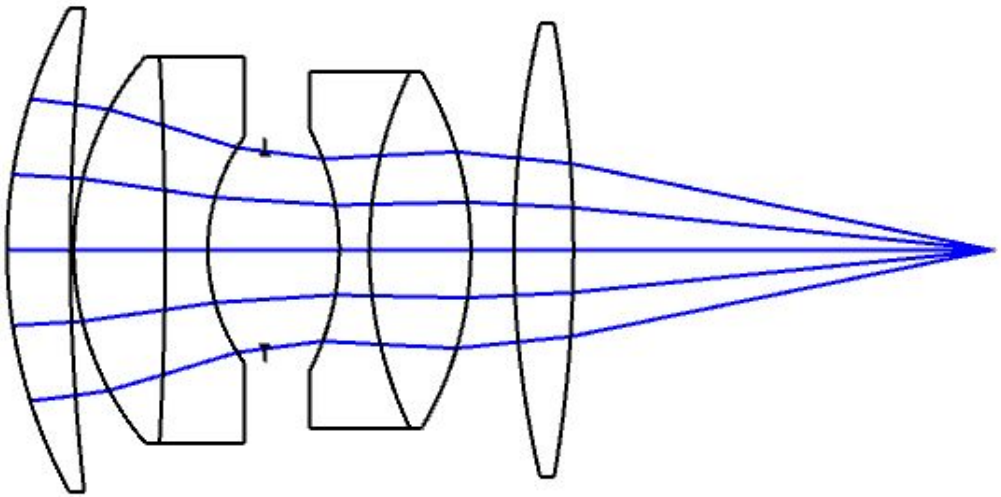
Cardinal Point Data Summary

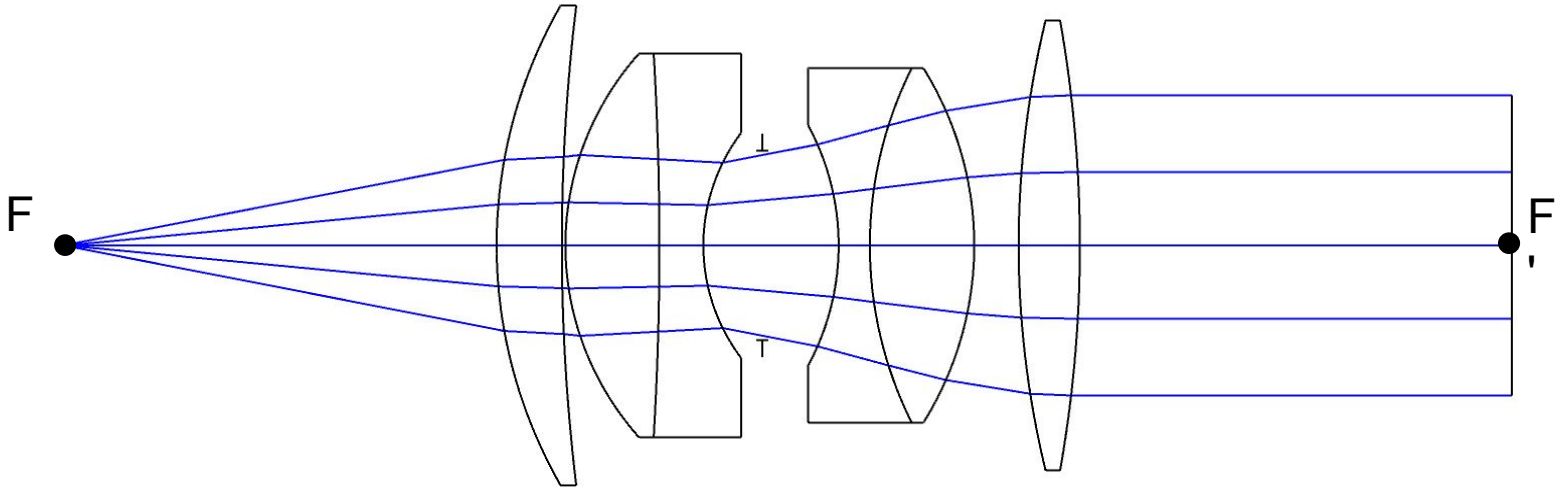
File : C:\Users\vladislav\Documents\Zemax\Samples\ZEBASE\L_001.ZMX
Title: DOUBLE GAUSS
Date : 14.04.2020

Object space positions are measured with respect to surface 1.
Image space positions are measured with respect to surface 12.
The index in both the object space and image space is considered.

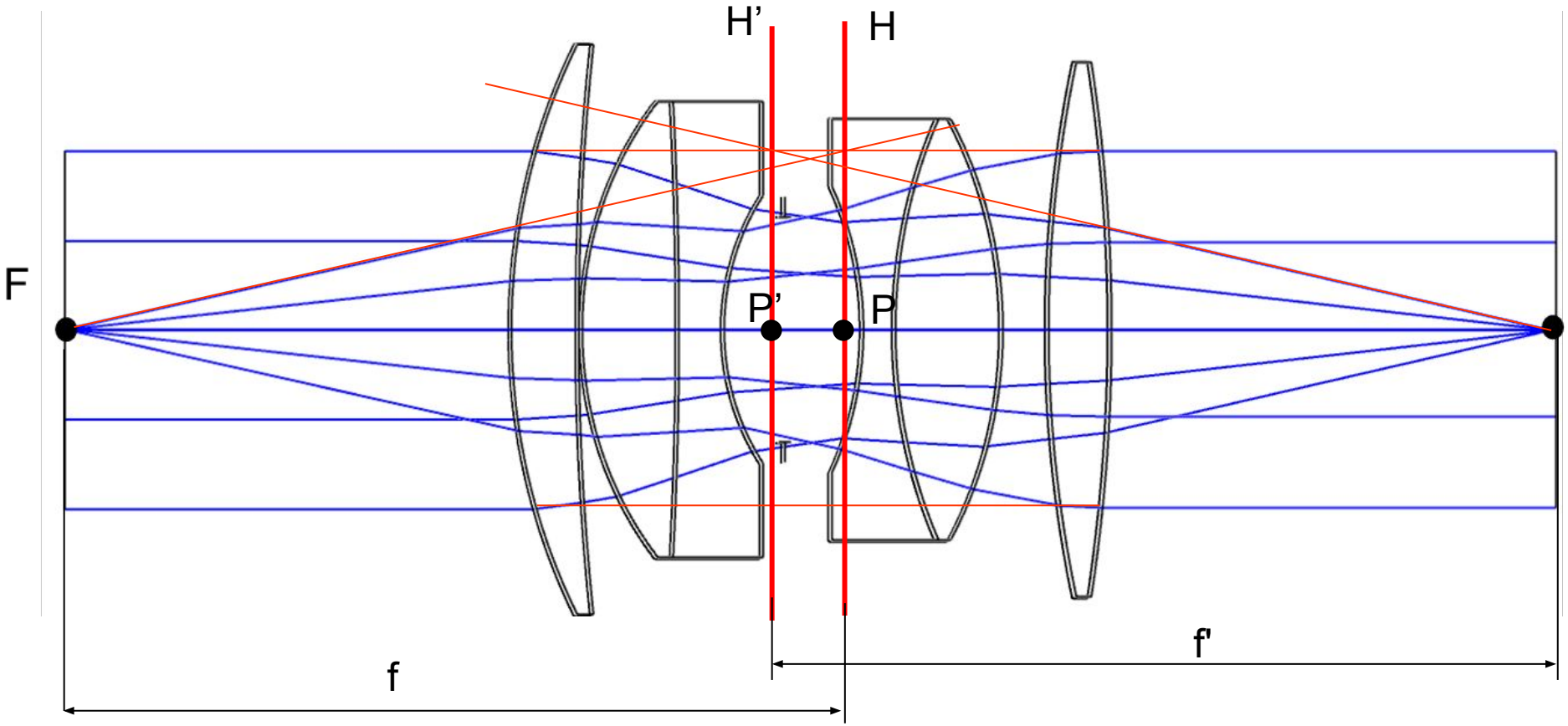
| | | Object Space | Image Space |
|---|---|---|---|
| Focal Length | : | -127.032661 | 127.032661 |
| Focal Planes | : | -70.588368 | -0.000000 |
| Principal Planes | : | 56.444293 | -127.032661 |
| Anti-Principal Planes | : | -197.621028 | 127.032661 |
| Nodal Planes | : | 56.444293 | -127.032661 |
| Anti-Nodal Planes | : | -197.621028 | 127.032661 |

# Фокусное расстояние объектива

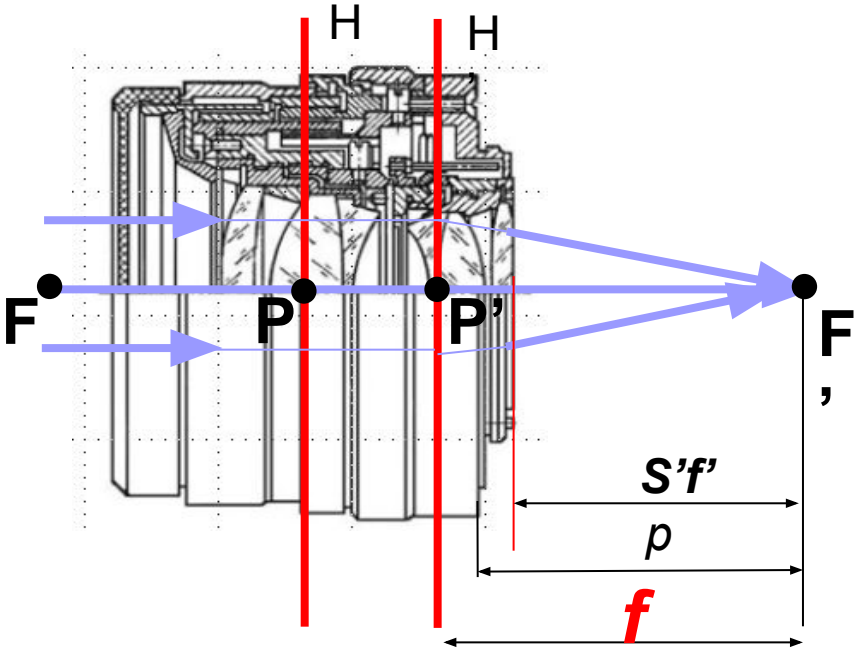




# Фокусное расстояние объектива



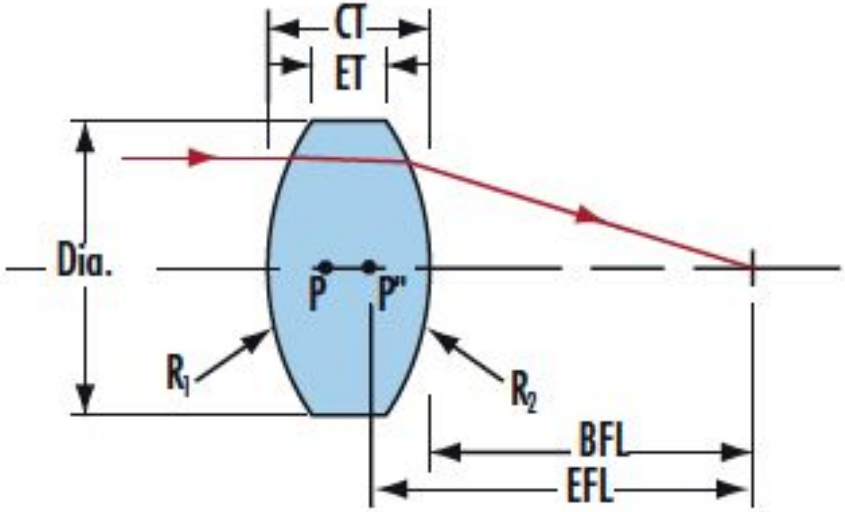
# Измерение фокусных расстояний




Фокусные f и f' расстояния отсчитывают от передней и задней главных точек оптической системы до её передней и задней фокальных плоскостей.
Так как главные и фокальные плоскости нематериальны, измерение фокусных расстояний возможно только косвенным методом.

Значение фокусного расстояния оптической системы влияет на создаваемое ею линейное увеличение. Поэтому большинство методов измерения фокусных расстояний базируются на определении размера изображения тест-объекта известного размера.
Допуски на отклонения реальных фокусных расстояний обычно лежат в диапазоне 0,5…2% от номинала. Погрешности измерения фокусных расстояний должны быть на порядок меньше. Практически погрешности измерения фокусных расстояний различными способами лежат в диапазоне 0,2…1%.

# Измерение фокусных расстояний

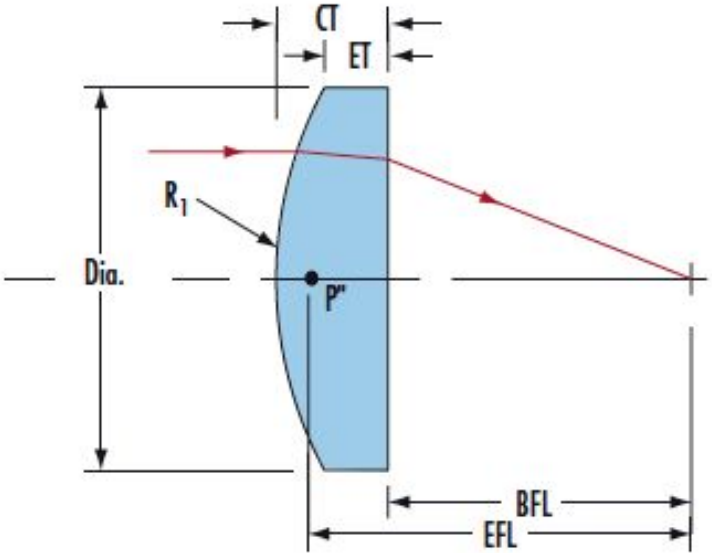



**Связь между конструктивными параметрами (R, d, n) и фокусным расстоянием f' одиночной линзы:**

$$\boxed{\frac{1}{f'} == (n-1)\left(\frac{1}{\mathrm{R1}} - \frac{1}{\mathrm{R2}} + \frac{(n-1)d}{n\,\mathrm{R1}\,\mathrm{R2}}\right)}$$

$(0.056)^2$

**Плоско-выпуклая линза (Plano-Convex Lens)**




$$\mathrm{R2} = \text{infinity} \qquad \frac{1}{f'} == (n-1)\left(\frac{1}{\mathrm{R1}} - 0 + \frac{(n-1)d}{n\,\mathrm{R1}\,0}\right)$$

$$\boxed{\mathrm{R1} = f'(n-1)}$$

$$n = 1.5168\ (N - \mathrm{BK7}), f' = 100\text{мм}$$

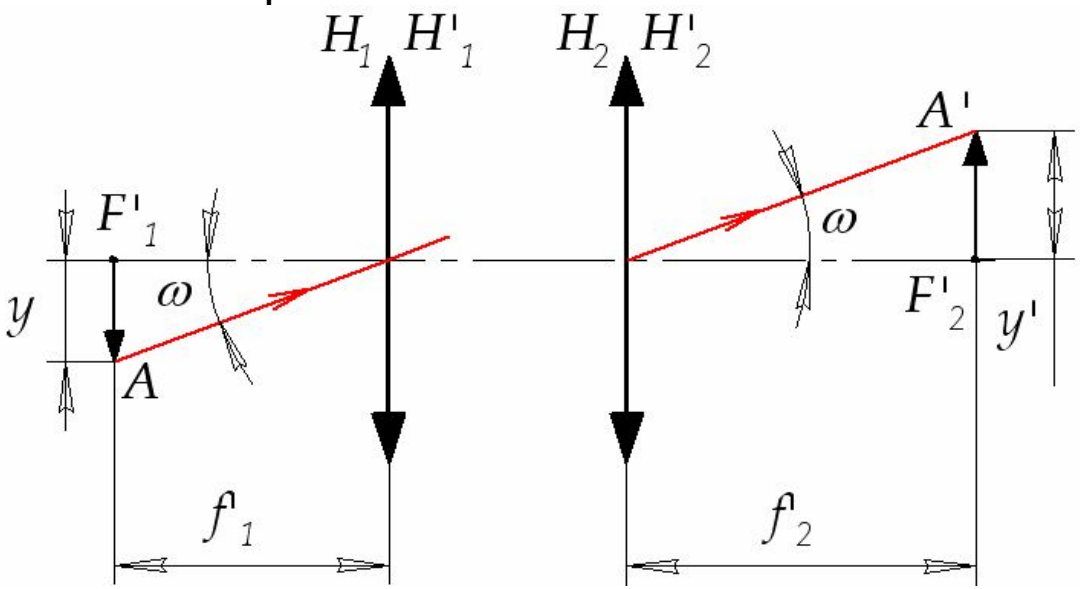
$$\mathrm{R1} = 100\ (1.5168 - 1) = 51.68\text{мм}$$

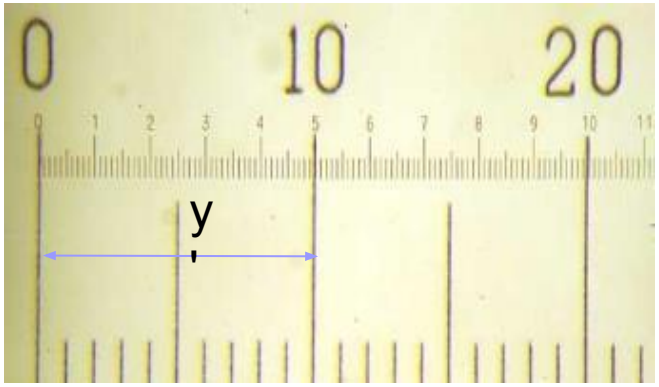
## Методы измерения f’:

1. Метод увеличений – реализуется на оптической скамье, применяется для положительных и отрицательных оптических систем;
2. Метод Аббе – реализуется на фокометре Аббе;
3. Метод угловых измерений – реализуется на гониометре;
4. Автоколлимационный метод;
5. Коинцидентный метод;
6. Метод Фабри-Юдина.

## 1.1 Метод линейных увеличений для объективов и положительных линз, с помощью коллиматора и микроскопа

Тест-объект устанавливают в передней фокальной плоскости объектива коллиматора




$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{f'_2}{f'_1} \Rightarrow \boxed{f'_2 = f'_1 \cdot \left(\frac{y'}{y}\right)}$$

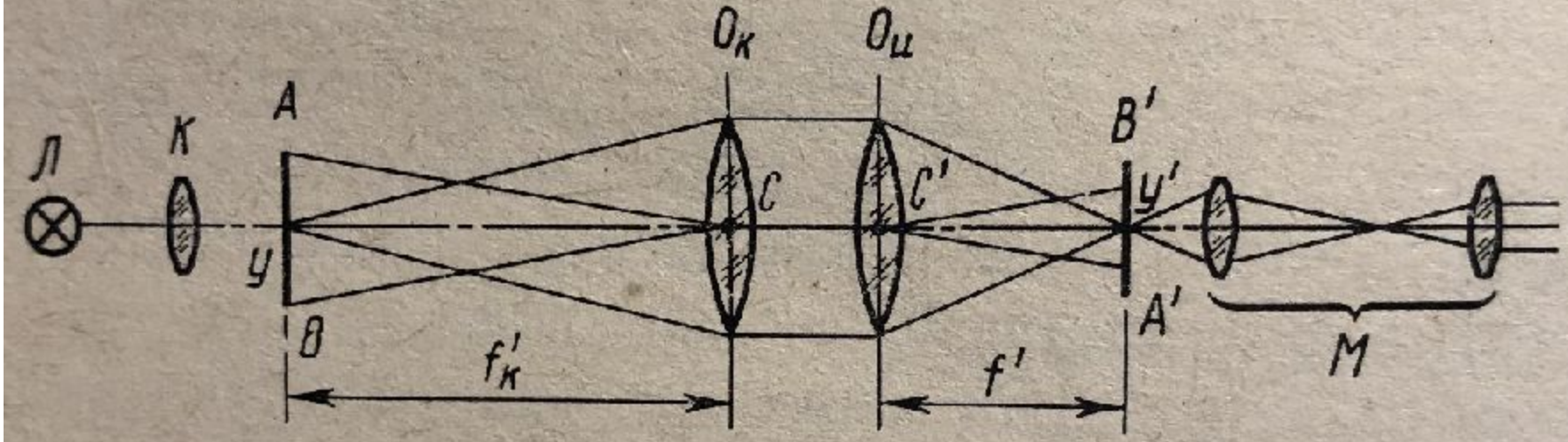



Рис. 89. Определение фокусного расстояния методом увеличения:

*Л* — лампа; *К* — конденсор; *М* — микроскоп

# 1.1 Метод линейных увеличений для объективов и положительных линз , с помощью коллиматора и микроскопа

**<u>Источники погрешностей:</u>**

1. Ошибка в значении фокусного расстояния коллиматора;
2. Погрешность (неравномерность) шкалы;
3. Погрешность измерения размера изображения; основной вклад вносит погрешность поперечной наводки: $\sigma(y') = \frac{0,05 мкм}{\sigma_M}$
4. Погрешность установки шкалы в фокальной плоскости объектива коллиматора
5. Неточность механизма перемещения микроскопа

$$f'_2 = f'_1 \cdot \left( \frac{y'}{y} \right)$$

$$\frac{\Delta f'_2}{f'_2} = 0.3\%..0.6\%$$

$$\sigma(f') = \bar{f}' \sqrt{\left(\frac{\sigma y'}{\bar{y}'}\right)^2 + \left(\frac{\sigma y}{\bar{y}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma f'_{кол}}{f'_{кол}}\right)^2}, \text{ где}$$

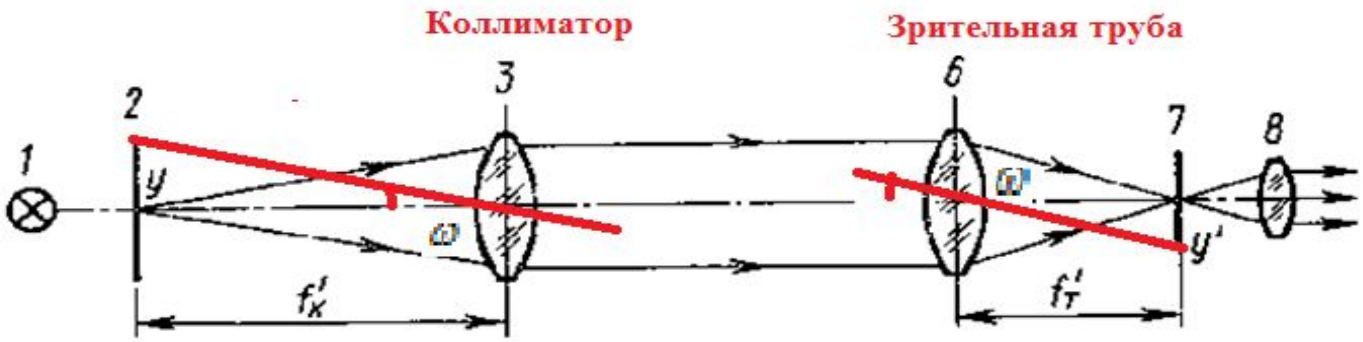
$$\bar{f}' = \frac{\bar{y}'}{\bar{y}} \cdot \bar{f}'_{кол}; \quad \sigma f'_{кол} \approx 0,001 \bar{f}'_{кол};$$

$$\sigma y \approx \pm 0,01 мм; \quad \sigma y' = \sqrt{\frac{\Sigma (y'_k - \bar{y}')^2}{n(n-1)}} -$$

$\sigma y'$ – вычисляется.

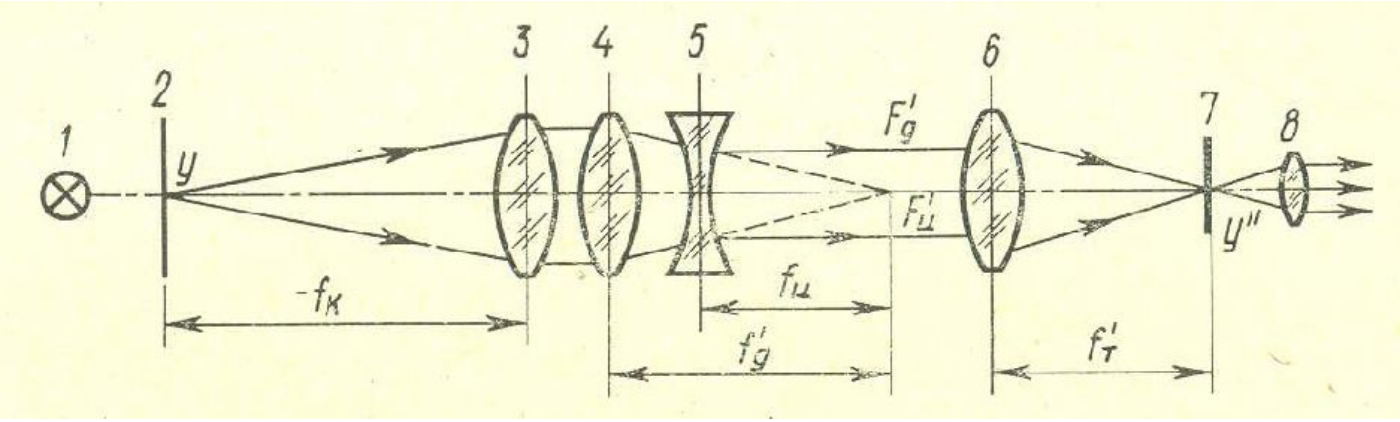
## 1.2 Метод линейных увеличений для отрицательных линз

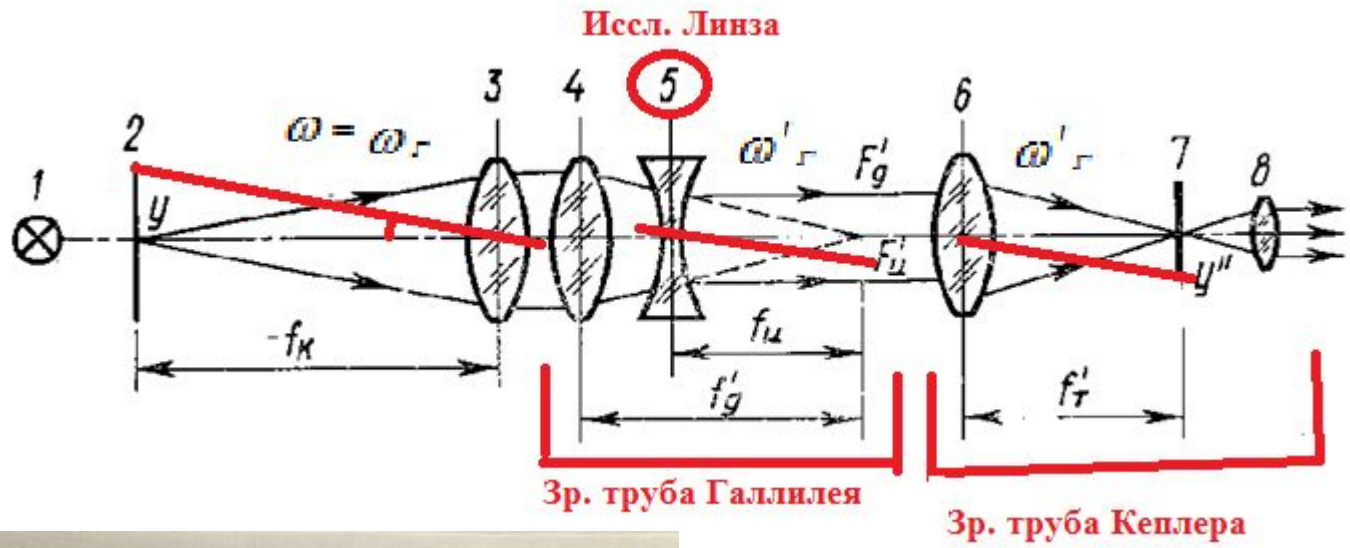
1. В системе без измеряемой линзы определяют размер y’ изображения участка y шкалы, тогда:




$$\frac{y'}{y} = -\frac{f'_T}{f'_K}$$

2. Добавляют элементы 4 и 5 и определяют размер y”, тогда:






$$\Gamma_{гал} = -\frac{f'_4}{f'_5} \Rightarrow f'_5 = -\frac{f'_4}{\Gamma_{гал}},$$

$$\Gamma_{гал} = \frac{\omega'_г}{\omega_г} = \frac{y''/f'_6}{y'/f'_6} = \frac{y''}{y'}$$

$$f'_5 = -\frac{y''}{y'} \cdot f'_4$$

$$\boxed{f' = -\frac{y''}{y'} f'_L}$$

## 1.2 Метод линейных увеличений для отрицательных линз

Для получения трубы Галилея измеряемую линзу перемещают вдоль оси до получения резкого изображения шкалы.

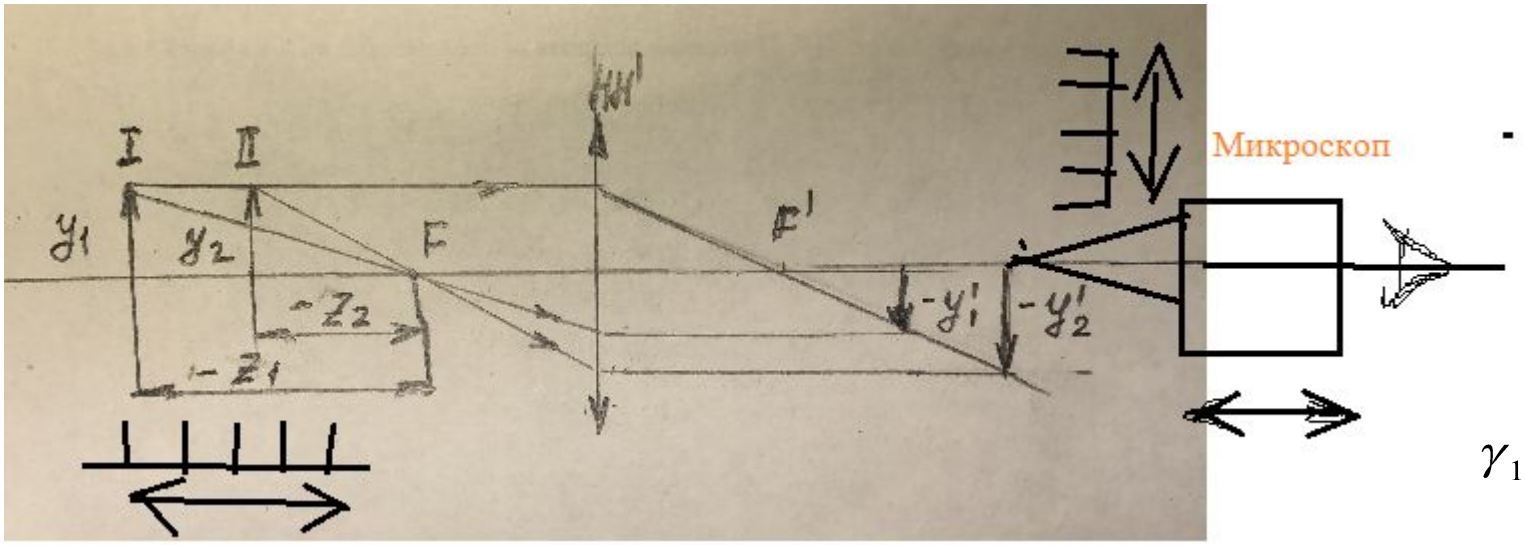
Преимущество: в формулу не входит размер тест-объекта, а также значения фокусных расстояний коллиматора и объектива зрительной трубы.
Целесообразно использовать для контроля крупной серии отрицательных линз. Должно выполняться условие $f'_4 \gg f'_5$

**Источники погрешностей:**

1. Ошибка в значении фокусного расстояния дополнительной линзы;
2. Неточность измерения размеров изображений.

Относительная погрешность = 0,6%.

## 2. Метод увеличений Аббе




$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{f'}{z}; \quad \underline{I}: \beta_1 = \frac{f'}{z_1}; \quad \underline{II}: \beta_2 = \frac{f'}{z_2}$$

$$z_2 - z_1 = f'\left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_1}\right) \Rightarrow :$$

$$f' = \frac{z_2 - z_1}{1/\beta_2 - 1/\beta_1} = \frac{z_2 - z_1}{y_2/y_2' - y_1/y_1'}$$

$$\left.\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{1}{\beta_1} = \frac{z_1}{f'} \\ \gamma_2 &= \frac{1}{\beta_2} = \frac{z_2}{f'} \end{aligned}\right\}$$

$$f' = \frac{z_1 - z_2}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{\Delta z}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{\Delta z}{\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}}$$

γ- угловое увеличение
β- линейной увеличение

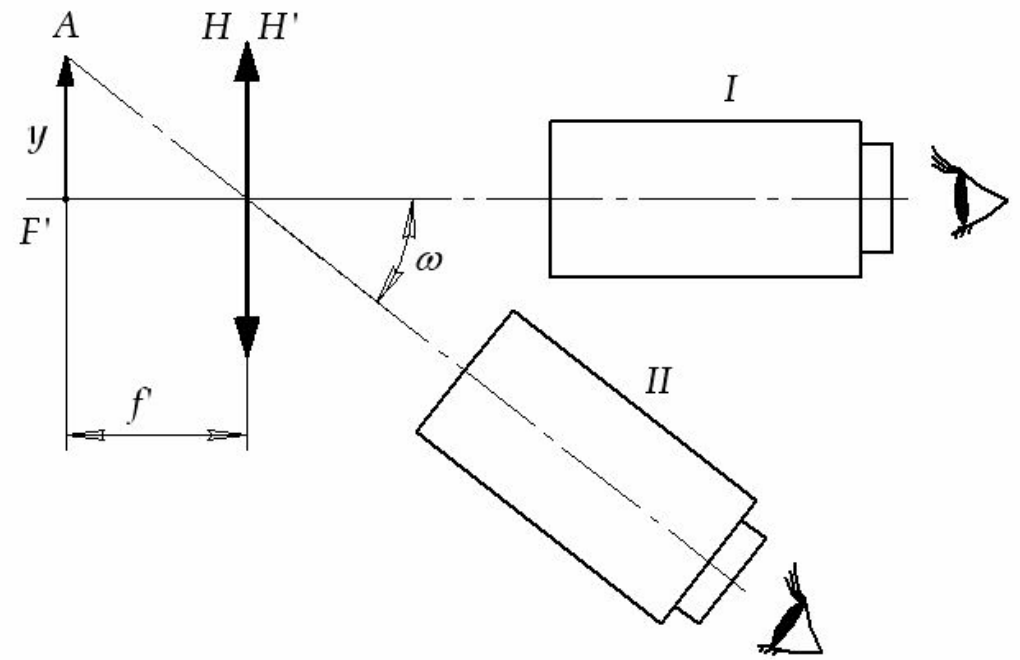
## 2. Метод увеличений Аббе

**<u>Источники погрешностей:</u>**

1. Погрешность измерения величины перемещения шкалы;
2. Погрешность измерения размеров изображений – основной вклад вносит погрешность поперечной наводки $\sigma(y') = \frac{0,05 мкм}{\sigma_м}$

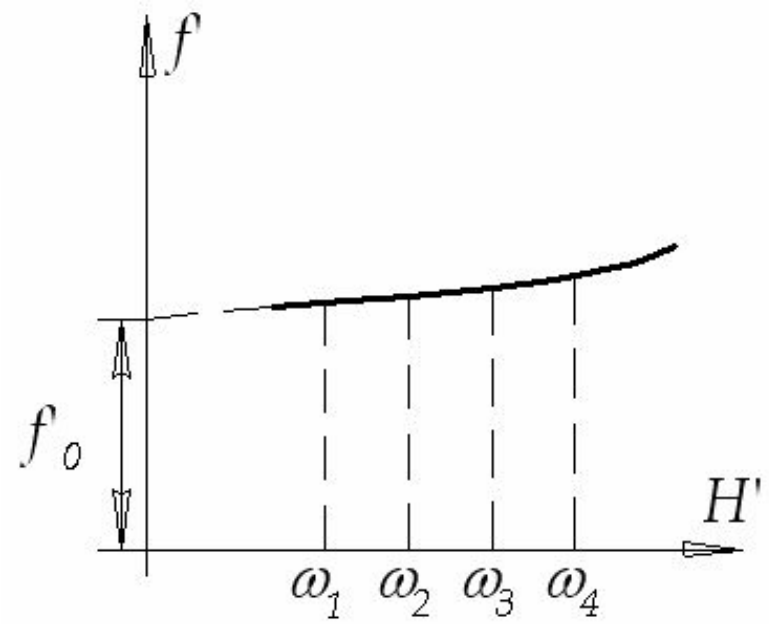
Относительная погрешность измерения фокусного расстояния обычно лежит в пределах 0,4…0,5%

## 3. Гониометрический метод




$$f' = y \cdot ctg\omega$$

| $y$ | $\omega$ | $f'$ |
|---|---|---|
| $y_1$ | $\omega_1$ | $f'_1$ |
| $y_2$ | $\omega_2$ | $F'_2$ |
| . . . | . . . | . . . |
| $y_n$ | $\omega_n$ | $f'_n$ |



## 3. Гониометрический метод

**Источники погрешностей:**

1. Погрешность (неравномерность) шкалы;
2. Погрешность измерения углов;
3. Погрешность установки шкалы в фокальной плоскости измеряемого объектива;
4. Погрешность совмещения главной точки объектива с осью вращения;
5. Дисторсия измеряемого объектива.