



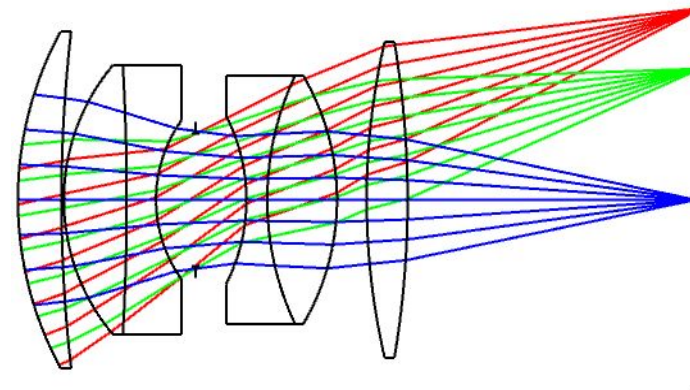
# Оптические измерения

## 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



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



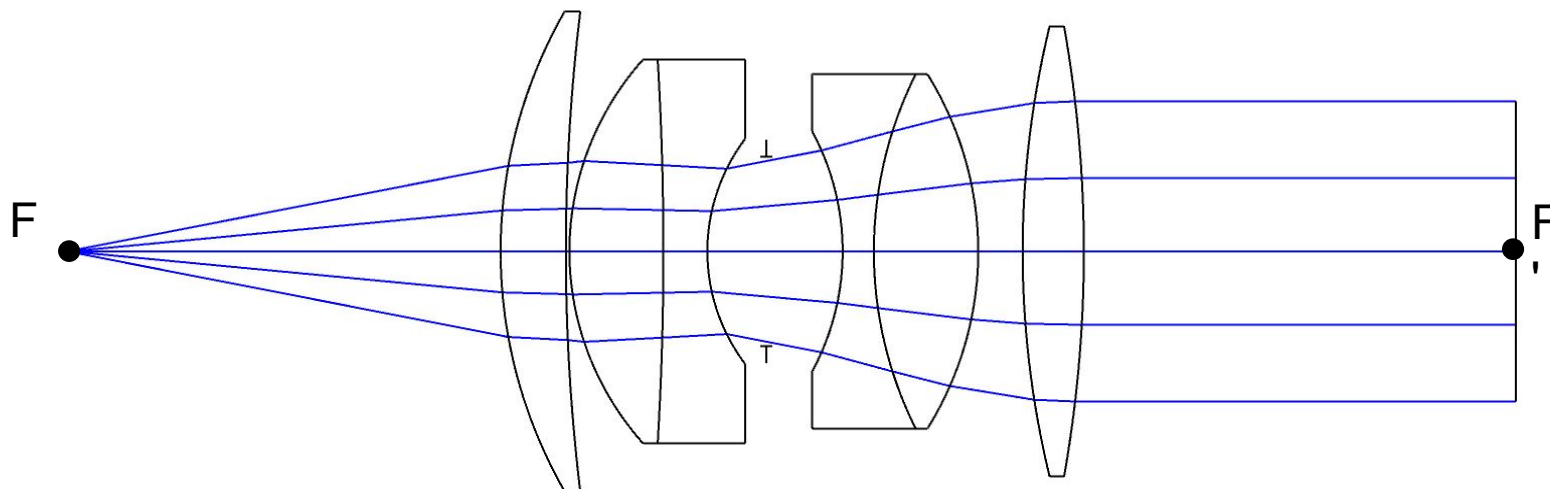
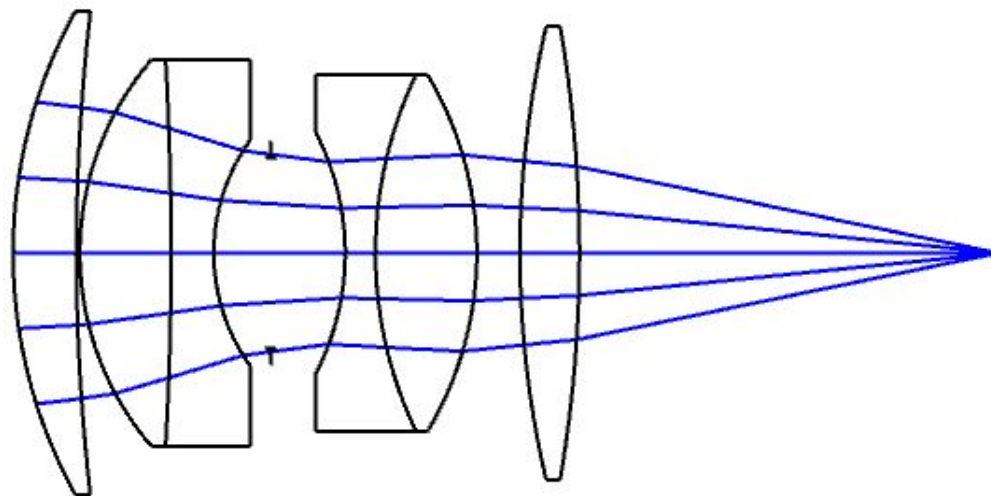
### Cardinal Point Data Summary

File : C:\Users\vladislav\Documents\Zemax\Samples\ZEBASE\L\_001.ZMX  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : 14.04.2020

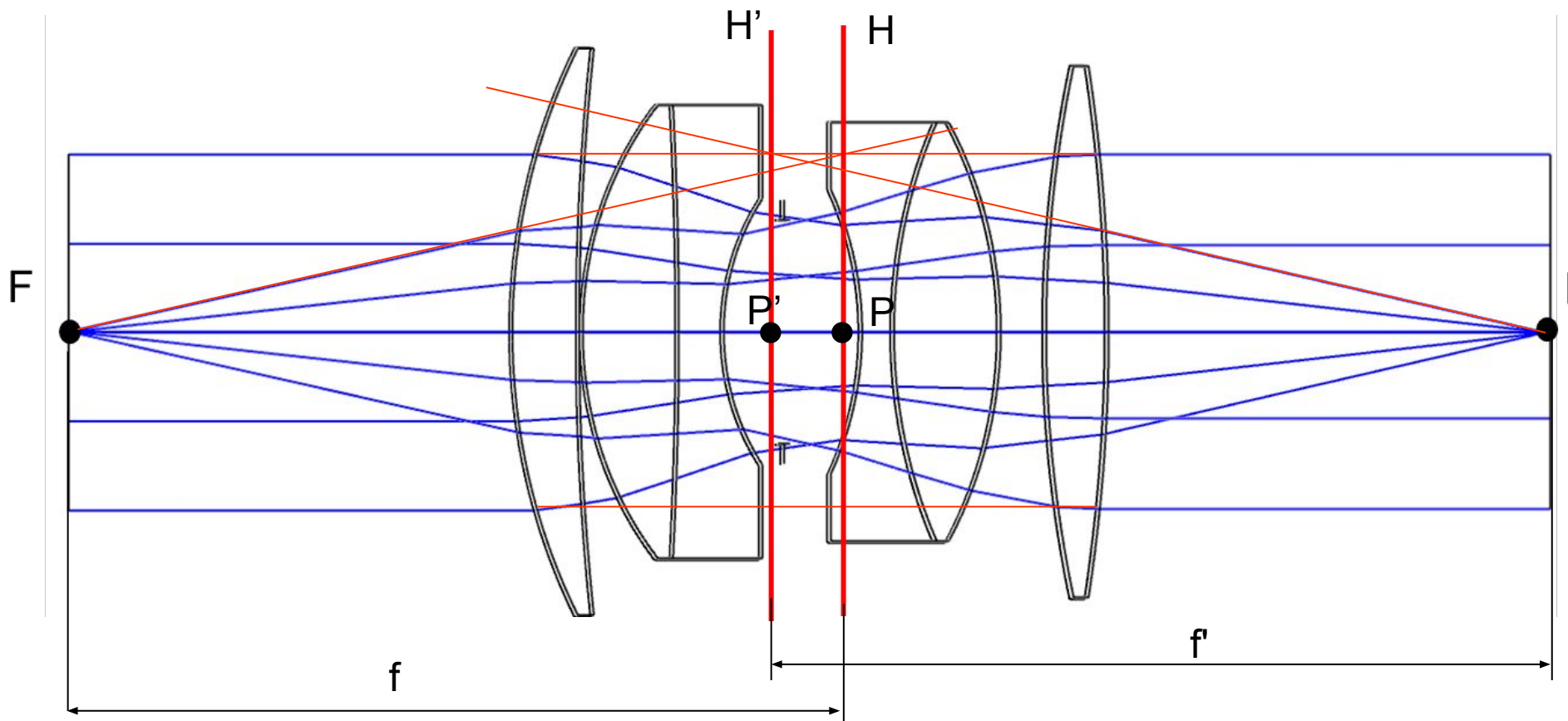
Object space positions are measured with respect to surface 1.  
 Image space positions are measured with respect to surface 12.  
 The index in both the object space and image space is considered.

	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

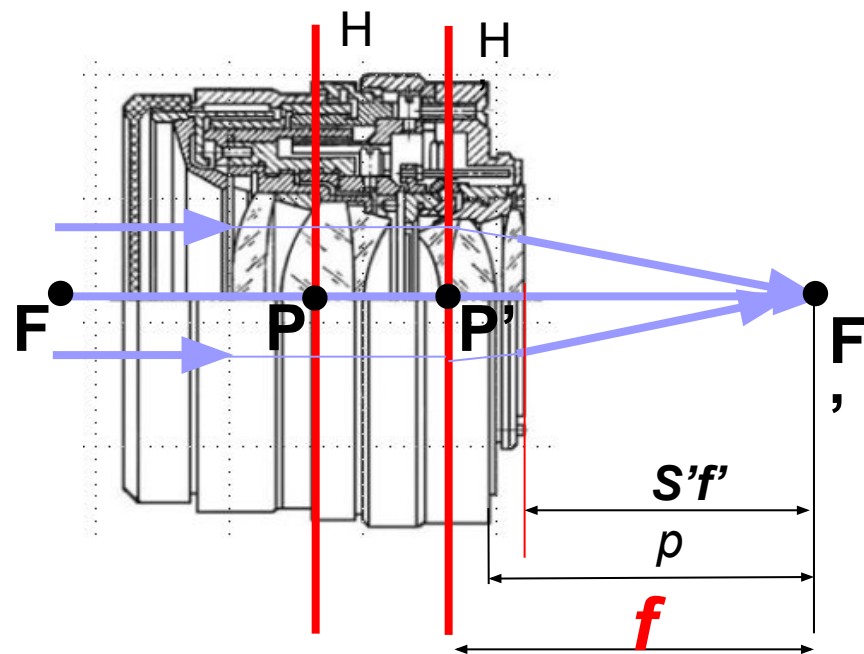
# Фокусное расстояние объектива



# Фокусное расстояние объектива



## Измерение фокусных расстояний



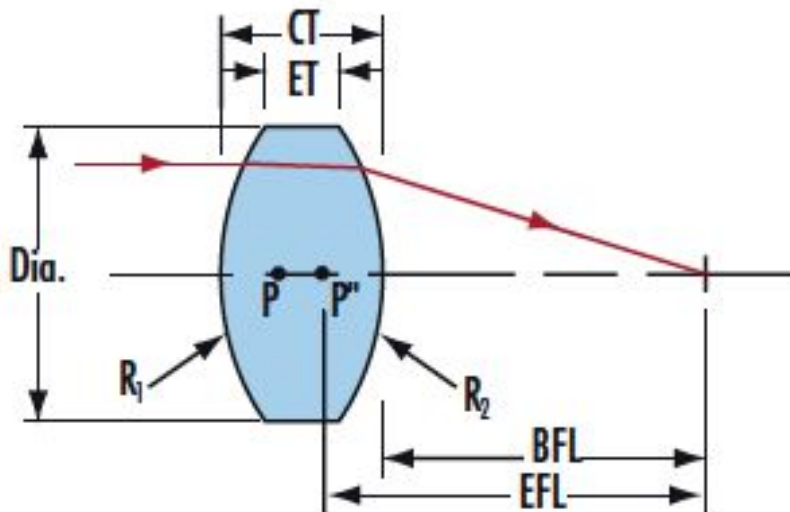
Фокусные  $f$  и  $f'$  расстояния отсчитывают от передней и задней главных точек оптической системы до её передней и задней фокальных плоскостей. Так как главные и фокальные плоскости нематериальны, измерение фокусных расстояний возможно только косвенным методом.

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

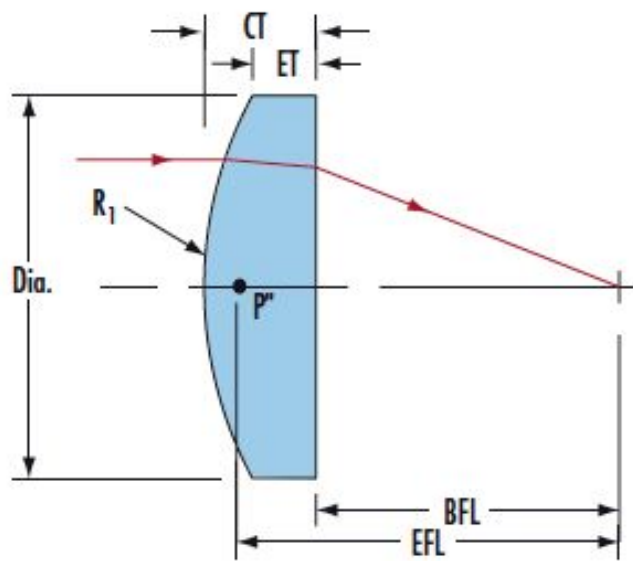


Связь между конструктивными параметрами ( $R$ ,  $d$ ,  $n$ ) и фокусным расстоянием  $f'$  одиночной линзы:

$$\frac{1}{f'} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n - 1)d}{n R_1 R_2} \right)$$

(0.056)<sup>2</sup>

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



$$R_2 = \text{infinity} \quad \frac{1}{f'} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - 0 + \frac{(n - 1)d}{n R_1 0} \right)$$

$$R_1 = f'(n - 1)$$

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

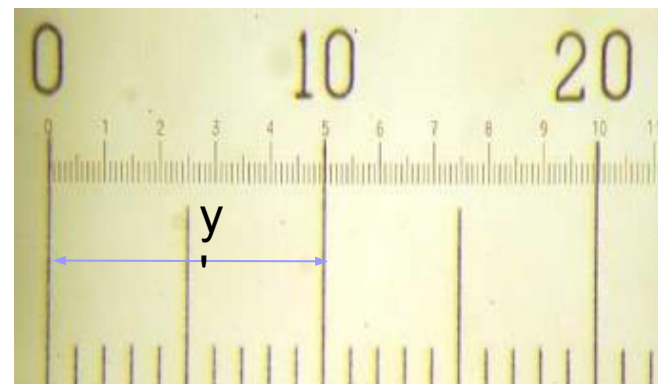
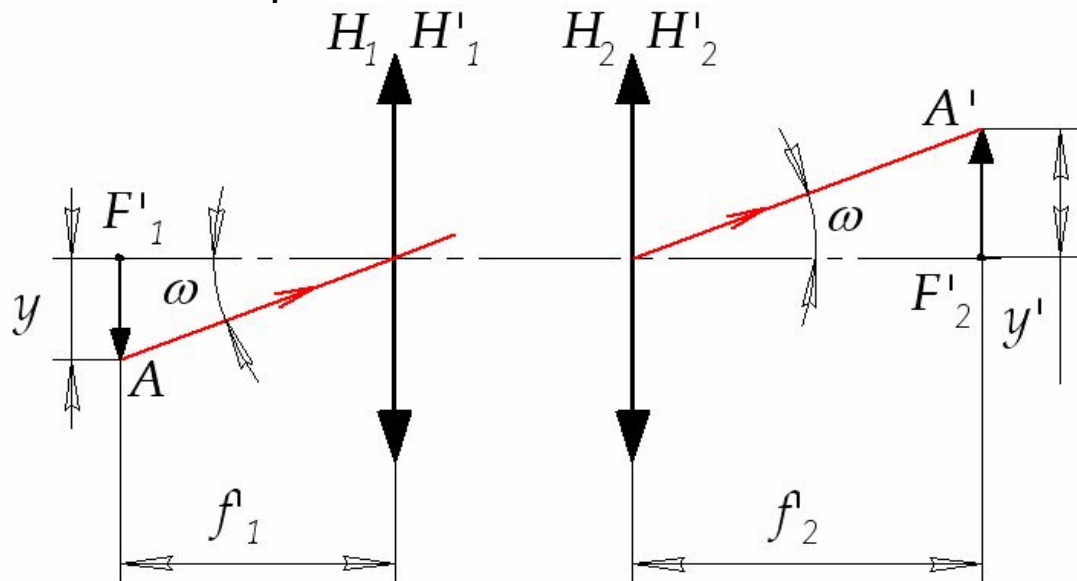
$$R_1 = 100 (1.5168 - 1) = 51.68\text{мм}$$

## 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



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



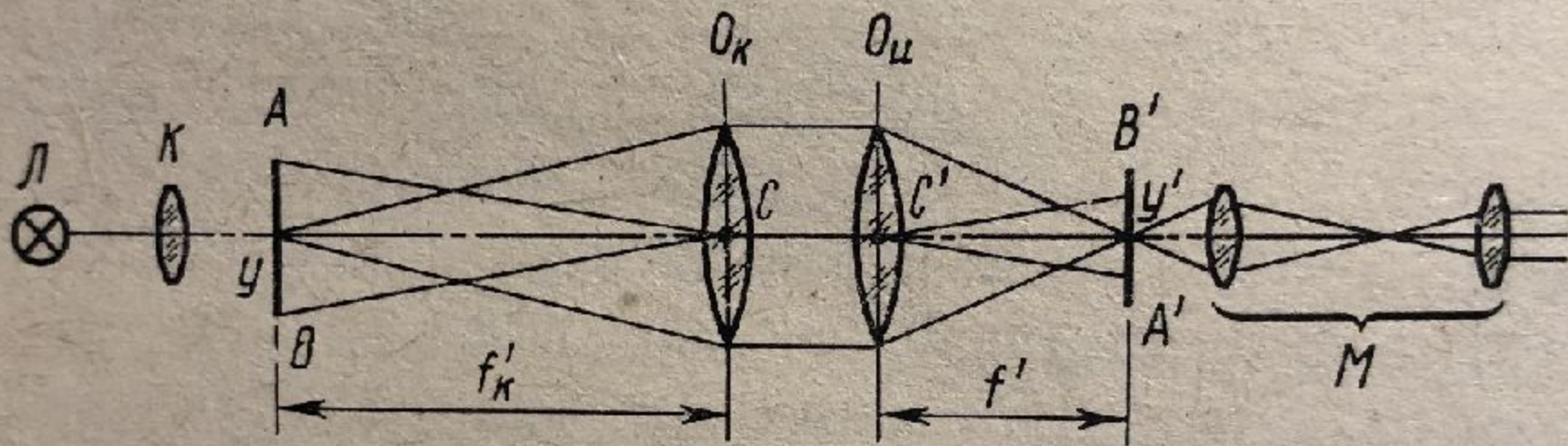


Рис. 89. Определение фокусного расстояния методом увеличения:

$L$  — лампа;  $K$  — конденсор;  $M$  — микроскоп

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

## Источники погрешностей:

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

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

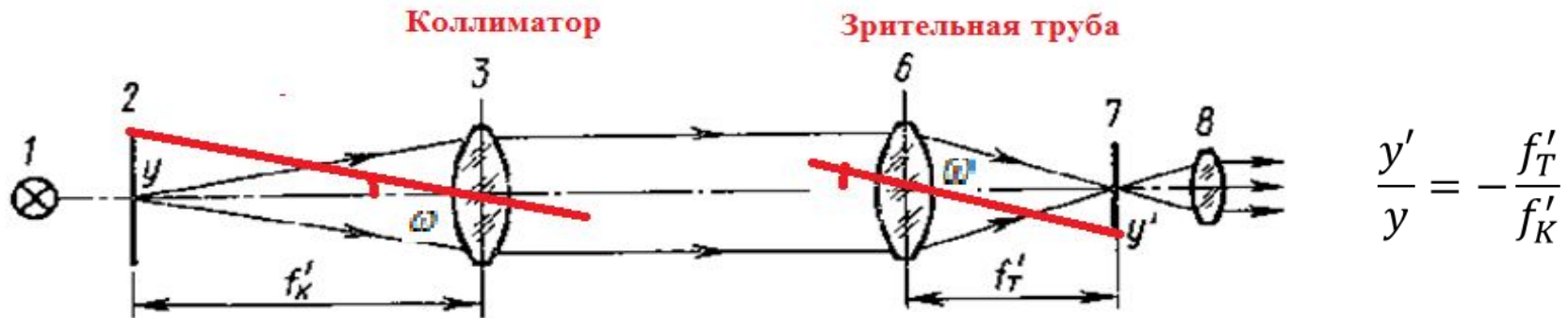
$$\frac{\Delta f'_2}{f'_2} = 0.3\% \dots 0.6\%$$

$$\sigma(f') = \bar{f}' \sqrt{\left( \frac{\sigma y'}{\bar{y}'} \right)^2 + \left( \frac{\sigma y}{\bar{y}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma f'_{\text{кол}}}{f'_{\text{кол}}} \right)^2}, \text{ где}$$
$$\bar{f}' = \frac{\bar{y}'}{\bar{y}} \cdot \bar{f}'_{\text{кол}}; \quad \sigma f'_{\text{кол}} \approx 0,001 \bar{f}'_{\text{кол}};$$
$$\sigma y \approx \pm 0,01 \text{ мм}; \quad \sigma y' = \sqrt{\frac{\sum (y_k' - \bar{y}')^2}{n(n-1)}}$$

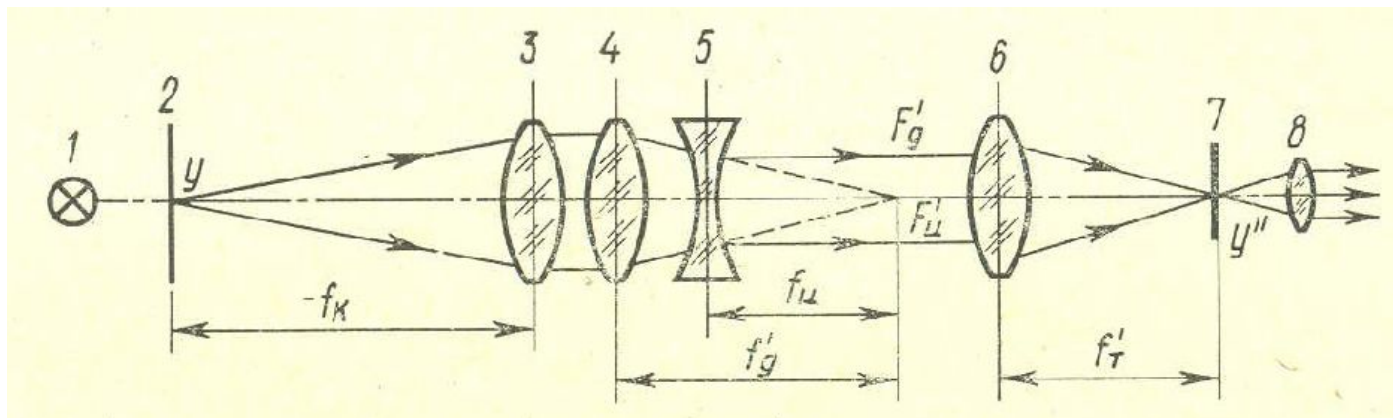
$\sigma y'$  - вычисляется.

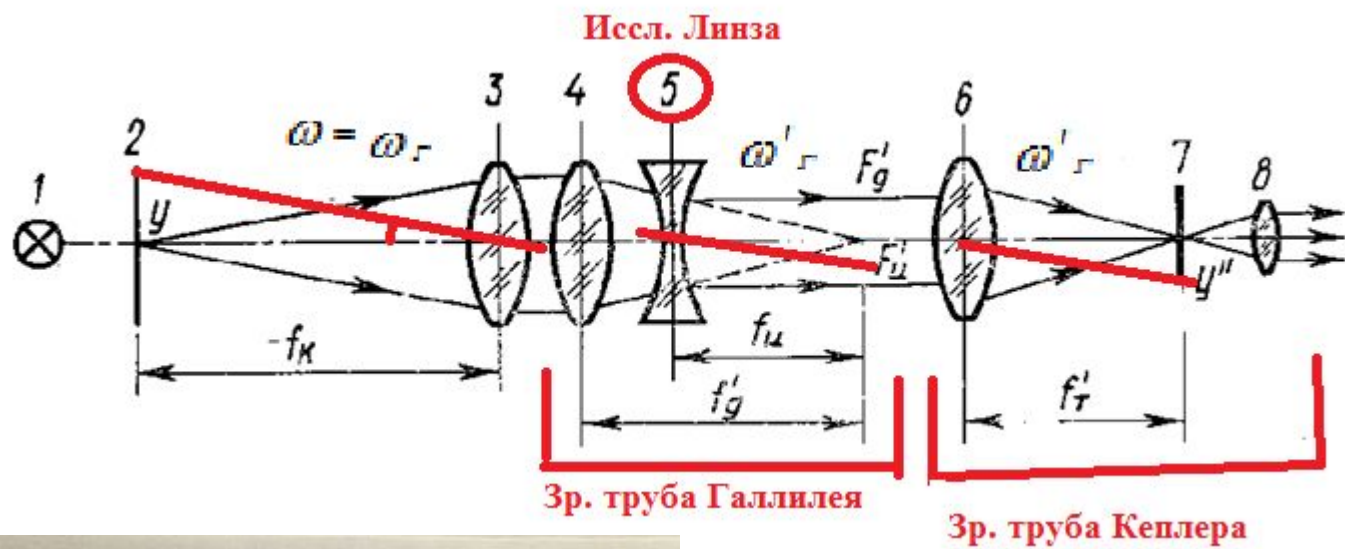
## 1.2 Метод линейных увеличений для отрицательных линз

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



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





$$\Gamma_{\text{ран}} = - \frac{f'_4}{f'_5} \Rightarrow f'_5 = - \frac{f'_4}{\Gamma_{\text{ран}}}$$

$$\Gamma_{\text{ран}} = \frac{\omega'_r}{\omega_r} = \frac{y''/f'_6}{y'/f'_6} = \frac{y''}{y'}$$

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

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

## 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  $f'_4 \gg f'_5$

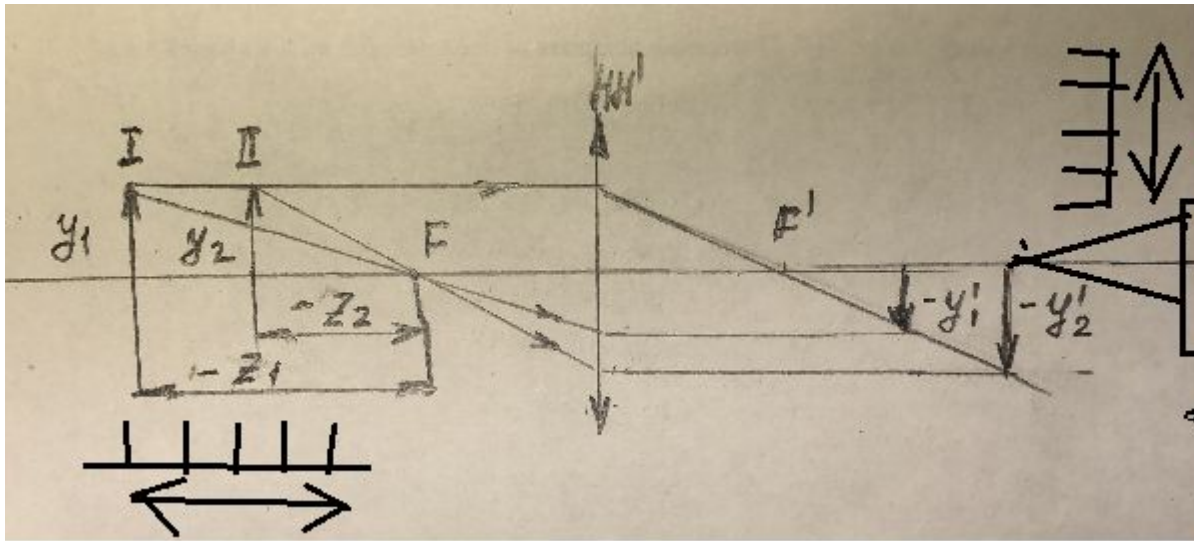
### Источники погрешностей:

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

Относительная погрешность = 0,6%.



## 2. Метод увеличений Аббе



Микроскоп

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

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

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

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

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

$\gamma$ - угловое увеличение  
 $\beta$ - линейной увеличение



## 2. Метод увеличений Аббе

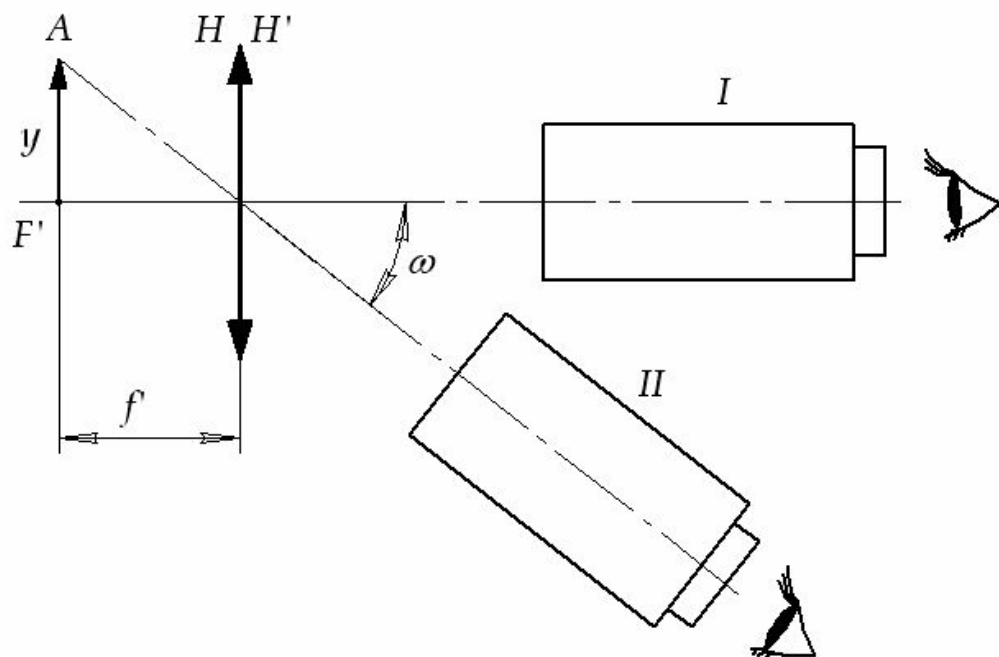
### Источники погрешностей:

1. Погрешность измерения величины перемещения шкалы;
2. Погрешность измерения размеров изображений – **основной вклад**

**вносит погрешность поперечной наводки** 
$$\sigma(y') = \frac{0,05 \text{ мкм}}{\sigma_M}$$

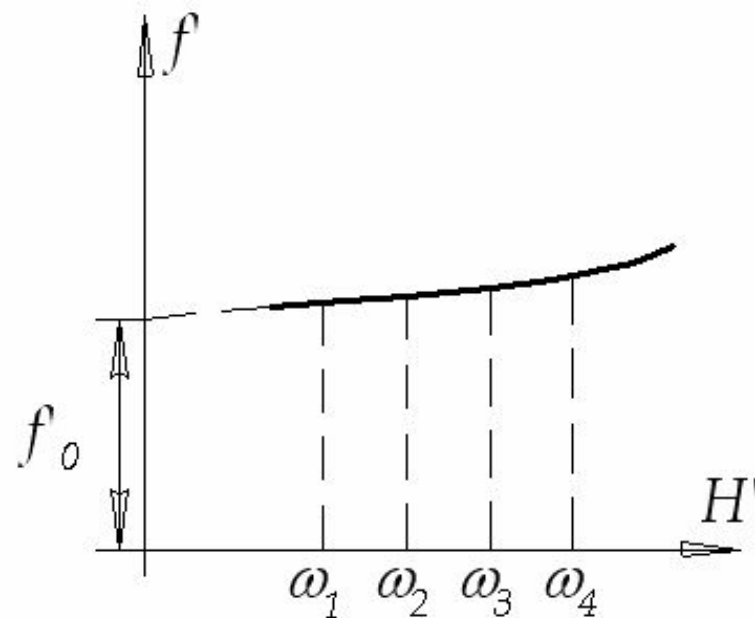
Относительная погрешность измерения фокусного расстояния обычно лежит в пределах 0,4...0,5%

### 3. Гониометрический метод



$$f' = y \cdot \text{ctg} \omega$$

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



### 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.