



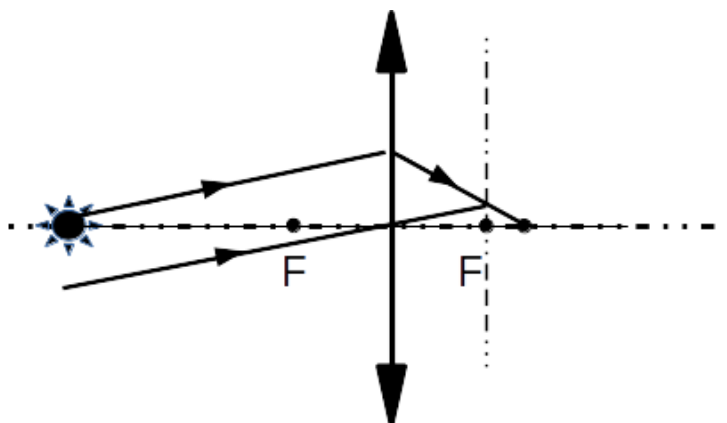
Решение задачи 6. Графеновый детектор (20 баллов)

1.

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$$

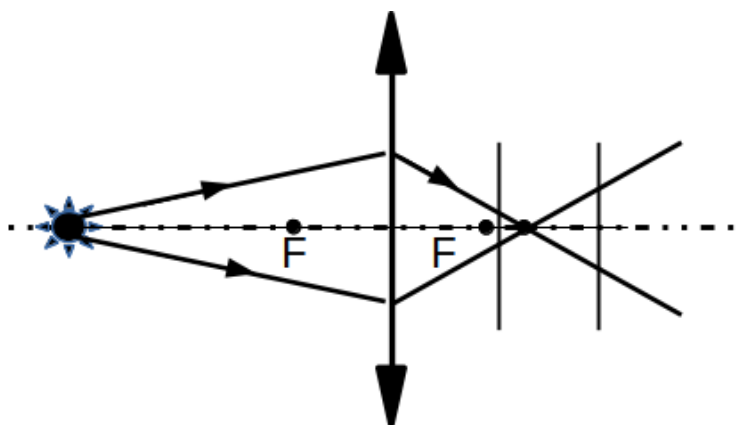
$$f = \frac{Fd}{d - F} = \frac{100 \cdot 300}{300 - 100} = 150 \text{ мм}$$

2. Изображение получится в месте пересечения 2-х лучей, вышедших из источника. Первый идет **вдоль** оптической оси не преломившись, второй пройдя через линзу преломляется и встречается с первым на оптической оси за фокусом. Чтобы найти угол преломления нужно построить вспомогательный луч, идущий параллельно второму. Вспомогательный луч не выходит из источника, и идет через центр линзы не преломившись. Его пересечение с фокальной плоскостью даст вторую точку для построения преломленного второго луча (первая точка на линзе в месте попадания второго луча).



3. Интенсивность — это отношение мощности к площади светового пятна. Интенсивность после прохождения каждого детектора падает в T раз, а отношение радиусов световых пятен найдем из подобия треугольников (см. рис.). На 10-ый детектор падает, пройдя через 9.

$$\frac{I_{10}}{I_1} = \frac{P_0 \cdot T^9 S_1}{S_{10} P_0} = \frac{T^9 R_1^2}{R_{10}^2} = \frac{T^9 (f - l_1)^2}{(l_{10} - f)^2} \approx 0,177$$



Решение задачи 7. Перенос двух наночастиц (20 баллов)

Приравнявая силы инерции и притяжения (сила реакции обращается в ноль), получаем формулу для момента времени отрыва наночастиц после начала действия лазерного импульса:

$$a_0 = \frac{-F_{\text{притяж}}}{m},$$

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{\frac{-F_{\text{притяж}}}{m}}{A},$$

которое составляет $t_0^{Au} \approx 144$ мкс для Au наночастицы и $t_0^{Ag} \approx 167$ мкс для Ag наночастицы.

Общее время переноса будет складываться из времени, необходимого для отрыва, и времени, необходимого для преодоления расстояния до экрана. Чтобы найти последнее, необходимо определить скорость в момент отрыва. Ускорение $a = A \cdot \sin(\omega t)$ является производной скорости, следовательно, скорость зависит от времени по закону:

$$v = \frac{A}{\omega} (1 - \cos(\omega t))$$

Зная моменты времени отрыва наночастиц, можно найти соответствующие скорости в момент отрыва:

$$v_0^{Au} \approx 760 \text{ м/с}$$

$$v_0^{Ag} \approx 600 \text{ м/с}$$

Общее время переноса для каждой из наночастиц:

$$t_{\text{общ}}^{Au} = t_0^{Au} + \frac{L}{v_0^{Au}} \approx 151 \text{ мкс}$$

$$t_{\text{общ}}^{Ag} = t_0^{Ag} + \frac{L}{v_0^{Ag}} \approx 175 \text{ мкс}$$

Откуда искомая разница времен равна: $\Delta t \approx 24$ мкс.

Решение задачи 8. Исследование лепестков ромашки (20 баллов)

1. Кинетическая энергия электрона, ускоренного напряжением 3000 В, равна

$$E_k = qU,$$

где U – ускоряющее напряжение (В). Следовательно,

$$E_k = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 3000 \text{ В} = 4,806 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}.$$

Тепловую энергию электронного газа можно рассчитать по формуле

$$E_h = \frac{3}{2} kT,$$

где k – постоянная Больцмана (Дж/К), T – температура (К).

Тепловая энергия электрона обусловлена его скоростью, то есть равна его кинетической энергии, поэтому

$$T = \frac{2E_k}{3k}$$

$$T = \frac{2 \cdot 4,806 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Дж}}{\text{электрон}}}{3 \cdot 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}} \approx 2,32 \cdot 10^7 \text{ К}$$

2. Во-первых, происходит частичное обезвоживание клеток при вакуумировании рабочей камеры. Во-вторых, происходит частичное разрушение поверхности лепестка под действием высокоэнергетических электронов (термическое разрушение).
3. Поскольку при вакуумировании камеры происходит обезвоживание лепестка, изменение временной зависимости давления связано с наличием водяных паров, которые отсутствуют в пустой камере.
4. Согласно условию задачи, до десятой минуты временные зависимости давления совпадают, следовательно, в течение этого времени откачивается воздух, попавший в камеру при загрузке образца. Далее за 50 минут давление линейно снижается с 0,6 Па до 0 Па вследствие обезвоживания лепестка, то есть давление в камере обусловлено испарением воды из исследуемого лепестка. При таком низком давлении водяной пар можно считать идеальным газом, поэтому его массу, которая численно равна изменению массы лепестка, можно рассчитать по уравнению Менделеева-Клапейрона

$$\Delta p \cdot V = \Delta m \cdot \frac{RT}{M},$$

где Δm – масса пара, то есть изменение массы лепестка (кг), Δp – изменение давления пара (Па), V – объём камеры (м^3), M – молярная масса воды (кг/моль), R – универсальная газовая постоянная ($\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$), T – температура (К).

Следовательно,

$$\Delta m = \Delta p \cdot \frac{VM}{RT}$$

$$\Delta m = (0,6 - 0) \text{ Па} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298 \text{ К}} \approx 4,36 \cdot 10^{-8} \text{ кг} = 43,6 \text{ мкг}$$

Масса лепестка уменьшилась на 43,6 мкг.