

$$\frac{R}{\sin \theta_1} = \frac{R}{\sin(\alpha - \gamma_1)} = \frac{a}{\sin(\pi - \alpha)} = \frac{a}{\sin \alpha},$$

$$\frac{R}{\sin \theta_2} = \frac{R}{\sin(\alpha - \gamma_2)} = \frac{b}{\sin(\pi - \alpha)} = \frac{b}{\sin \alpha}$$

Учитываем малость углов:

$$R\alpha = a(\alpha - \gamma_1), \quad R\alpha = b(\alpha - \gamma_2)$$

$$\alpha \left(\frac{a - R}{a} \right) = \gamma_1, \quad \alpha \left(\frac{b - R}{b} \right) = \gamma_2,$$

$$\beta + \beta + \varphi = \pi, \quad \gamma_1 + \gamma_2 + \varphi = \pi \quad \Rightarrow \quad \gamma_1 + \gamma_2 = 2\beta = 2\frac{\alpha}{n}.$$

$$\alpha \left(\frac{a - R}{a} \right) + \alpha \left(\frac{b - R}{b} \right) = \gamma_1 + \gamma_2 = 2\frac{\alpha}{n}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = 2\frac{n-1}{Rn}. \quad (1)$$

$$n = \frac{1}{1 - \frac{R}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)}. \quad (2)$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a , см										
b , см										
n										

$$\bar{n} = 1,47.$$

Частный случай при $a = b$: $n = \frac{2a}{2a - 2R}$.

2. Нахождение фокусного расстояния. Фокусное расстояние отсчитывается от заднего края линзы. При $a \rightarrow \infty$

$$b = F + R = \frac{Rn}{2(n-1)} \quad \Rightarrow \quad F = R \frac{2-n}{2(n-1)}$$

3. Прямое определение фокусного расстояния.

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}, \quad \sin \alpha = \frac{x}{R}, \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{h}{F}$$

$$\delta = \pi - 2\beta, \quad \gamma = \pi - \alpha - \delta, \quad \theta = \alpha - \gamma.$$

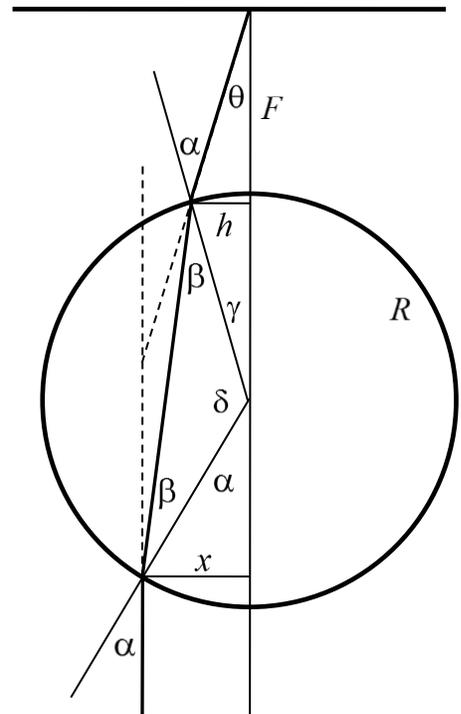
$$F = \frac{h}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{h}{\operatorname{tg}(\alpha - \gamma)} \approx \frac{h}{\alpha - \gamma}$$

$$h = R \sin \gamma \approx R\gamma, \quad F = \frac{R\gamma}{\alpha - \gamma}$$

$$\gamma = \pi - \alpha - \delta = \pi - \alpha - \pi + 2\beta$$

$$F = R \frac{2\beta - \alpha}{2(\alpha - \beta)}, \quad \beta \approx \frac{\alpha}{n}$$

$$F = R \frac{2\beta - n\beta}{2(n\beta - \beta)} = R \frac{2 - n}{2(n - 1)}.$$



Критерии оценивания 9.1

1. Проведены измерения расстояний, сведены в таблицу	1	
2. Выведена формула (1)	3	
3. Построен график $b(a)$ (экспериментальные точки, шкала, масштаб, единицы измерения)	3	
4. Выведена формула (2) для n	1	
5. Найдено значение n раствора, попало в интервал $[1,44; 1,50]$	2	
6. Оценена погрешность Δn	1	
7. Выведена формула для F . Если принято, что F отсчитывается от центра, то 1 балл.	2	
8. Найдено значение F , попало в интервал $[6,7; 7,0]$.	1	
9. Оценена погрешность ΔF	1	

Задача 9.2. Проводящее кольцо

Имеется проволока диаметром 0.1 мм, замкнутая в кольцо. Для измерения доступен лишь его прямой отрезок. Измерьте зависимость сопротивления проволоки от расстояния между щупами мультиметра. На основе полученной зависимости определите удельное сопротивление ρ материала провода в Ом·мм²/м и его полную длину l .

Оборудование: черный ящик с прорезью, линейка, мультиметр, миллиметровая бумага.

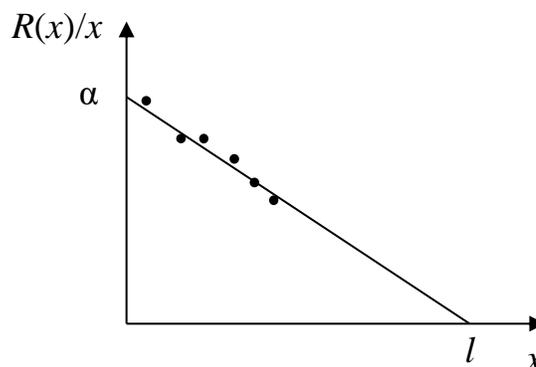
Решение

$$R = \frac{\rho l}{S} = \alpha l$$

$$R(x) = \frac{\alpha x \alpha (l - x)}{\alpha l} = \alpha x \left(1 - \frac{x}{l}\right) \quad (1)$$

$$\frac{R(x)}{x} = \alpha - \frac{\alpha x}{l} \quad (2)$$

$$\rho = \alpha S$$



Критерии оценивания 9.2

1. Измерена зависимость $R(x)$. Данные сведены в таблицу. 10 и более точек – 3 балла, 5-9 точек – 2 балла, 3-4 точки – 1 балл	3	
2. Записана формула (1)	1	
3. Записана формула линейризации (2)	2	
4. Построен график R/x от x . Экспериментальные точки 0,5 балла. Кресты погрешностей 0,5 балла. Равномерные шкалы 0,5. Обозначения осей 0,5. Единицы измерения 0,5. Правильно построенная прямая 0,5.	3	
5. Определено ρ , значение попало в ворота 4 ± 1 Ом·мм ² /м	2	
6. Оценена погрешность ρ	1	
7. Определено l , значение попало в ворота [50; 70] см	2	
8. Оценена погрешность l	1	
9. Если расчеты проведены на основе решения системы уравнений для пары точек, и график не используется, задача оценивается из 9 баллов (без п. 3, 4, и половина от п. 6 и 8).		