



Республиканская физическая олимпиада 2022 года (Заключительный этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 11 класс (для жюри)

Уважаемые члены жюри!

Задачи, предложенные школьникам для решения на олимпиаде, не стандартные и достаточно сложные. Предложенные здесь варианты путей решений не являются единственно возможными. Участники олимпиады могут предложить свои способы решения. Если эти способы приводят к правильным ответам и физически обоснованы, то задача (или ее отдельные пункты) должны оцениваться максимальными баллами.

Не забывайте, что Вы должны оценивать не только конечные ответы, но и отдельные правильные шаги в ходе решения!



Не жалейте баллов (если, конечно, есть за что!) для наших замечательных школьников!

Задание 11-1. Растекание токов и распределение потенциала.

Часть 1. Распределение потенциала вдоль оси X

1.1 Измерение потенциала следует проводить с шагом не более 1 см, в противном случае провести тщательный анализ этой зависимости невозможно.

График полученной зависимости нелинейный, напоминает кубическую параболу. Функция, описывающая полученную зависимость, нечетная.

1.2 В рамках предположения о том, что зависимость потенциала от расстояния до источника обратно пропорциональна расстоянию до источника (как потенциал поля точечного заряда), функция описывающая полученную зависимость $\varphi(x)$ должна иметь вид

$$\varphi = C \left(\frac{1}{l-x} - \frac{1}{l+x} \right) = C \frac{2x}{l^2 - x^2} \quad (1)$$

Эта зависимость допускает линеаризацию

$$\frac{1}{x\varphi} = \frac{l^2 - x^2}{C} \quad (2)$$

Однако, замена переменных $Y = \frac{1}{x\varphi}$, $X = x^2$ и построение графика зависимости $Y(X)$

показывает, что данная зависимость не является линейной. Таким образом, предположение об обратной зависимости потенциала от расстояния не выполняется.

1.3 Для определения параметров зависимости $\varphi_0(x) = ax + bx^3$ ее необходимо привести к виду

$$\frac{\varphi_0(x)}{x} = a + bx^2. \quad (3)$$

В этом случае для расчета коэффициентов a, b можно воспользоваться методом наименьших квадратов.

1.4 Так как растекание токов происходит в плоскости, то наиболее разумным является предположение о том, что зависимость потенциала от расстояния до источника является логарифмической:

$$\varphi = \varphi_0 \ln \frac{r_0}{r}. \quad (4)$$

Часть 2. Распределение поля в плоскости.

2.1 Измерение потенциала проводится описанным в условии методом.

2.2 Эквипотенциальная поверхность есть геометрическое место точек, имеющих один и тот же потенциал. На плоскости эквипотенциальная поверхность является линией пересечения трехмерной эквипотенциальной поверхности с плоскостью. Крайняя точка требуемой линии задана в условии, потенциал в этой точке измерен, обозначим его φ_1 . Для построения всей линии можно воспользоваться двумя методами.

Первый, экспериментальный: проводя сканирование потенциала вдоль некоторой прямой параллельной оси x (с некоторым шагом, например, те же 2 см) найти на этой прямой точку с тем же значением потенциала.

Второй, теоретический: используя данные проведенных измерений провести линейную интерполяцию значений потенциалов между двумя узловыми точками, и по ней рассчитать координаты точек, имеющих потенциал φ_1 .

Заметим, что данная эквипотенциальная линия является замкнутой и охватывает один из подводющих контактов.

2.3 Так как напряженность поля равна производной от потенциала, взятой с противоположным знаком

$$\begin{aligned} E_x &= -\frac{d\varphi}{dx} \\ E_y &= -\frac{d\varphi}{dy} \end{aligned} \quad (5)$$

То для построения направления вектора напряженности, производные можно приближенно заменить отношением конечных разностей,

$$\begin{aligned} E_x &= -\frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j}}{h} \\ E_y &= -\frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j}}{h} \end{aligned} \quad (6)$$

Расчеты по этим простым формулам следует провести по всем точкам, значения потенциалов измерены в ходе выполнения пункта 2.1.

Задание 11-2. Стекланный песок.

Часть 1. Собирающая линза.

1.1 Для измерения фокусного расстояния линз с высокой точностью можно измерить зависимость смещения луча на экране x от смещения линзы z . Как следует из рисунка эти величины связаны геометрическим соотношением

$$\frac{z}{F} = -\frac{x}{L-F}. \quad (1)$$

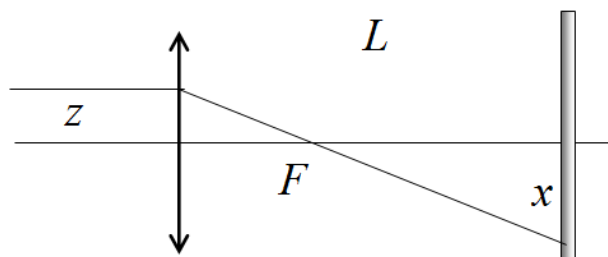
Из которого следует, что

$$x = -\frac{L-F}{F} z. \quad (2)$$

По коэффициенту наклона легко измеряемой зависимости $x(z)$ можно рассчитать фокусное расстояние собирающей линзы.

Аналогично можно получить формулу и провести необходимые измерения и для рассеивающей линзы.

2.2 Чтобы получить увеличенное изображение стекланных песчинок, необходимо использовать собирающую линзу, причем песчинки должны располагаться вблизи фокальной плоскости линзы. Для подсветки песчинок можно использовать рассеивающую линзу.



2.3 После получения изображения следует измерить диаметр изображения песчинок D . Выразим этот размер через параметры установки.

$$D = D_0 \frac{b}{a} . \quad (3)$$

где a, b расстояния от предмета (песчинка) до линзы и от линзы до экрана с изображением песчинки, соответственно.

В эксперименте проще измерять расстояние от линзы до экрана, поэтому величину a можно выразить из формулы линзы:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow a = \frac{bF}{b - F} . \quad (4)$$

Подстановка этого выражения в формулу (3) дает:

$$D = D_0 \frac{b - F}{F} . \quad (5)$$

Таким образом, зависимость размера изображения песчинки от величины b является линейной. Экспериментальное исследование этой зависимости с последующей обработкой по методу наименьших квадратов позволяет рассчитать размер песчинки D_0 с небольшой погрешностью.

Часть 3. Рассеяние света песком.

3.1 Для получения картин рассеяния света удобнее использовать штатив с лапками для крепления оптических элементов.

При рассеянии вперед наблюдается монотонное изменение интенсивности света на экране, никаких характерных элементов в этой картине не наблюдается.

При рассеянии света небольшой кучкой песчинок иногда на экране возникают ярко освещенные с четкими краями круглые световые пятна. Их возникновение обусловлено переотражением света от нескольких песчинок.

3.2 При рассеянии назад регулярно возникают описанные круглые пятна света. Поэтому предположение о переотражении света, высказанное в предыдущем пункте подтверждается. Возникновение этих круглых пятен аналогично возникновению радуги при преломлении света в капельках воды.

Часть 4. Светоотражающая полоска.

4.1 В зависимости от места попадания света на светоотражающую полоску на экране возникают разнообразные световые пятна, форма и положение которых заметно отличаются при смещении луча по полоске.

4.2 При некоторых положениях луча на полоске в отраженном свете наблюдаются круглые пятна, подобные пятнам, возникающим при рассеянии света на стеклянных шариках. Это наблюдение говорит о том, что в светоотражающий слой полоски включены стеклянные шарики.