

**В.И. Портнов**

**Методические рекомендации  
к выполнению конкурсных заданий по физике  
для междисциплинарного экзамена в номинации  
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»**

**МОСКВА 2023**

## СОДЕРЖАНИЕ

### Оглавление

Введение.....	3
1 Особенности задач по электричеству и магнетизму .....	4
1.1 Электростатика и медленно меняющиеся токи .....	4
1.2 Магнитные явления.....	5
1.3 Графическое представление условий задачи .....	6
2 Решение демонстрационного варианта задач .....	8
Заключение .....	10

## **Введение**

Данные методические рекомендации предназначены для выполнения конкурсных заданий по математике для теоретического этапа Московского конкурса межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» в номинации «Инженерный класс» по единому направлению.

Рассматривается необходимый теоретический минимум для решения конкурсных задач по физике. Указания сопровождаются решением примеров.

В методических рекомендациях приведен разбор решения демонстрационного варианта соответствующего задания по физике.

Предполагается ознакомление обучающегося с темами: магнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания, постоянный электрический ток, токи в различных средах, законы сохранения в механике.

## **1 Особенности задач по электричеству и магнетизму**

Электрические явления выделяются в отдельный раздел физики, потому что обладают своими уникальными свойствами.

1. Электрическое взаимодействие – одно из 4-х или 5-ти фундаментальных видов взаимодействий. Оно значительно слабее ядерного сильного взаимодействия на ядерных масштабах, но в отличие от последнего не имеет ограничений на расстоянии. С другой стороны, на больших масштабах значительно менее интенсивное гравитационное взаимодействие оказывается сильнее из-за того, что в космических телах заряды разных знаков взаимно компенсируются.

2. Заряды дискретны. Заряд любой системы равен элементарному заряду, умноженному на целое число.

3. Действие различных зарядов друг на друга происходит независимо. Это свойство называется принципом суперпозиции электромагнитных полей несуперсильной интенсивности..

### **1.1 Электростатика и медленно меняющиеся токи**

1. Свободные заряды, как правило, малы, а токи велики. Ток в 1 ампер – это средний ток. В обычной квартирной электрике бывают токи и значительно больше. Заряд в 1 кулон – невообразимо большой заряд. Два таких заряда даже на километровом расстоянии будут отталкиваться с силой, которой хватит, чтобы поднять медведя.

2. Статическое электрическое поле внутри проводников отсутствует. Для этого на поверхности проводников выстраиваются заряды, уничтожающие внутреннее поле проводников. Такие же заряды стоят и на поверхности проводника, по которому идёт ток – как горы, окружающие горную реку.

3. Представление о том, как текут по проводам заряды, у многих совершенно превратное. Вот простой пример. К диоду приложили переменное напряжение. Когда напряжение направлено в положительном направлении, всё

понятно – проходящие по проводам заряды тут же проходят через диод. А вот когда напряжение направлено в противоположную сторону – воображение рисует картину, похожую на автомобильную пробку на улице. Заряды прибывают и прибывают, а прохода для них нет. Так вот: никаких пробок там нет. Чтобы прекратить поток зарядов, достаточно иногда прохождения заряда в несколько микрокулон, и всё – образовался запирающий потенциал.

4. Последнее связано, в свою очередь, с ёмкостными свойствами проводов. Разрыв провода эквивалентен конденсатору очень малой ёмкости. Конденсаторы обычно начинаются с пикофард. Большие ёмкости конденсаторов – это нанофарды и микрофарды.

5. Измерение электрических величин производится амперметром и вольтметром. Или их комбинацией. Идеальный вольтметр не должен проводить ток, потому что он подсоединяется параллельно. То есть, можно принять, что сопротивление идеального вольтметра бесконечно. На идеальном амперметре не должно падать напряжение, потому что он подсоединяется последовательно.

## **1.2 Магнитные явления**

1. Магнитные поля, в отличие от электрических, связаны с движением зарядов. Они могут быть нескомпенсированными даже у больших небесных тел, и оказаться большой величины (даже на больших расстояниях) и при нулевом суммарном заряде системы.

2. Магнитное поле взаимодействует с веществом значительно слабее электрического. Впрочем, и два не слишком больших неодимовых магнитов могут легко раздавить пальцы.

3. На движущийся заряд в магнитном поле действует сила Лоренца, на элемент тока в магнитном поле действует сила Ампера. Обе эти силы определяются правилом правой руки.

4. Полезно знать, что при переходе в другую систему отсчёта электрические и магнитные поля преобразуются друг через друга. Этот факт снимает противоречия теории.

5. Основным (исходным) электрическим полем является напряжённость  $E$  электрического поля. Основным магнитным полем является магнитная индукция  $B$ .

6. На заряды в движущемся проводящем теле действует сила Лоренца, что приводит к появлению в этом теле разности потенциалов, перпендикулярной как вектору скорости, так и вектору магнитной индукции (будем называть такую разность потенциалов поперечной)..

7. На заряды в проводнике с током, находящемся в магнитном поле, действует сила Лоренца, направление которой зависит от знака заряда. Эти силы также приводят к появлению поперечной разности потенциалов (эффект Холла).

### 1.3 Графическое представление условий задачи

Грамотный рисунок (чертёж) даёт обычно значительно больше информации о задаче, чем словесное её описание. Опытному решателю задач хватает иногда доли секунды, одного взгляда на рисунок, чтобы понять суть задачи. Можно выделить следующие идеи процесса создания рисунка:

1. Максимально чёткое вырисовывание всех деталей, использование разных цветов, линии разной толщины и т.д.; при этом надо следить за тем, чтобы рисунок не был загромождён второстепенными деталями. При необходимости надо нарисовать два или больше рисунков одной и той же задачи, но с разными акцентами. Например, на электротехнической схеме на одном рисунке указать токи, а на другом – напряжения.

2. Чётко и правильно сделать обозначения элементов цепи (сопротивления, индуктивности, конденсаторы). В электростатических силовых задачах - вдумчиво и непредвзято расставить силы. Под непредвзятостью понимается то, что силы рисуются примерно одинаковыми, пока нет уверенности в том, какая из них больше.

3. Рисунок или чертёж не предназначается для выставки; он должен помочь в решении задачи.

**Пример 1.1.** :Задача о замене соединения сопротивлений треугольником ( $R_1 = 90 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 60 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 30 \text{ Ом}$ ) на соединение звездой может быть представлена рисунком (рис. 1). Необходимо найти такие сопротивления в правой схеме, чтобы она стала эквивалентной левой. На этом рисунке красным обозначены точки входа в цепи, которые по сути являются трёхполюсниками,

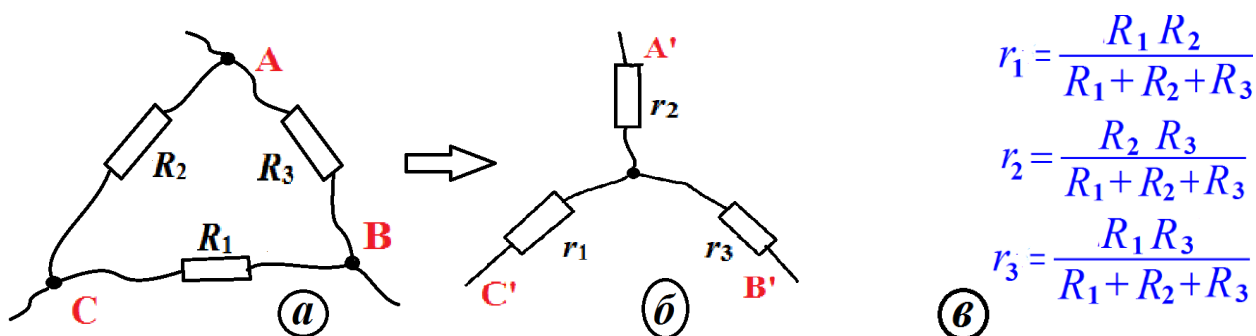


Рис. 1. Замена соединения треугольником на соединение звездой. *a* – соединение треугольником. *b* – соединение звездой. *в* – значение сопротивлений, при которых схемы окажутся эквивалентными.

В соединении треугольником в принципе возможен круговой ток  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ , который в принципе невозможен в соединении звездой. Однако, этот круговой ток никак не проявляется на внешних проводах, Поэтому мы не будем его рассматривать. Для нахождения сопротивлений необходимо рассмотреть три ситуации, в которых проверяется эквивалентность схем. 1) А и В подключаются к источнику напряжения, а С остаётся свободным. 2) В и С подключаются, а А – свободно. 3) получается аналогично. В случае первом равенство сопротивлений даёт уравнение

$$R_3(R_1 + R_2) / (R_1 + R_2 + R_3) = r_2 + r_3 .$$

Остальные уравнения получаются аналогично. Ответ получается такой:  $r_1 = 30$ ,  $r_2 = 10$ ,  $r_3 = 15$ .

**Пример 1.2.** :Длинный провод тянется из бесконечности, затем делает поворот по полуокружности радиуса  $R$  и дальше тянется в обратном направлении (рис.2.) . По проводу идёт ток 1 А. Найти магнитное поле  $B$  в точке  $O$ .

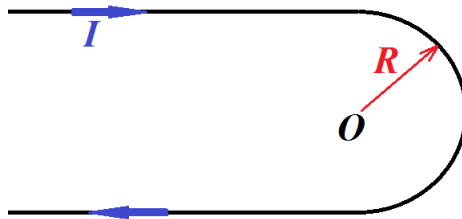


Рис. 2.

Прямой бесконечный провод с током создаёт поле  $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$

Круговой провод создаёт в центре окружности такое же поле.

Мы имеем две половинки прямого провода и одну полуокружность. Суммируя все поля по принципу суперпозиции, получим

$$B = \frac{3\mu_0 I}{4\pi R}$$

## 2 Решение демонстрационного варианта задач

**Задача 1.** На катушку диаметра  $d = 8$  см было намотано  $N = 1200$  витков проволоки, затем концы проволоки соединили (рис. 3). Полное сопротивление проволоки равно  $R = 200$  Ом. Катушку помещают в магнитное поле  $B = 1$  Тл, направленное вдоль её оси. В какой-то момент поле начинает равномерно уменьшаться и за время  $t = 50$  миллисекунд достигает нулевого значения. Найти суммарное тепло, выделившееся в обмотке катушки за это время. Ответ дать в Дж, округлить до сотых.



Рис. 3.

Рис. 3

### Решение:

Сначала вычислим все необходимые параметры катушки, заодно переведем их в СИ. Поперечная площадь катушки



$$S = \pi d^2/4 = 0,00502655\dots$$

Полный магнитный поток  $\Phi = NBS$ .

ЭДС индукции  $\mathcal{E} = \Phi / t$ .

Мощность Джоулева тепла  $P = \mathcal{E}^2 / R$ .

Выделенное тепло  $Q = Pt = \Phi^2 / Rt = N^2 B^2 S^2 / Rt$ .

Подставляем:  $Q = 3,63833\dots \approx 3,64$  Дж

**Ответ:** 3,64.

**Задача 2.** Невесомый непроводящий стержень длиной  $2L$  ( $L = 0,8$  м) с двумя одинаковыми массами ( $m = 10$  г) на концах равномерно вращается вокруг своего центра масс с угловой скоростью  $\omega = 10$  рад/с (рис. 4).левой массе был передан положительный заряд  $q_1 = +1$  мкКл, а правой – отрицательный заряд  $q_2 = -2$  мкКл. В начальный момент стержень находился в горизонтальном положении. В этот момент на малое время  $t = 10^{-2}$  с было включено магнитное поле  $B = 50$  Тл (направление указано на рис. 4). Найдите модуль скорости центра масс стержня после выключения поля. Ответ выразите в мм/с, округлите до десятых.

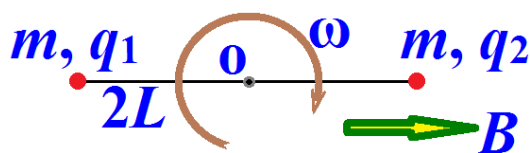


Рис. 4

**Решение:**

Сначала оценим угол поворота стержня за время действия поля. Это время умножаем на угловую скорость и получаем  $\varphi = \omega t = 0,1$  рад. Косинус этого угла равен 0,995 настолько мало отличается от единицы, что угол поворота в решении задачи можно не учитывать.

Скорость зарядов одинакова по модулю и равна  $v = L\omega = 8$  м/с.

Скорости противоположны по направлению, но, поскольку знаки зарядов разные, то силы Лоренца оказываются сонаправлены.

Поэтому суммарная сила  $F = 3 \cdot 10^{-6}$  Кл  $\cdot$  8 м/с  $\cdot$  50 Тл =  $1,2 \cdot 10^{-3}$  Н.

Передаваемый импульс практически не меняется в течении времени действия силы (изменением упомянутого выше косинуса угла можно пренебречь). Суммарный приобретённый импульс равен  $Ft$ .

Скорость, приобретённая стержнем, равна  $Ft/2m = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot 10^{-2} \text{ с} / 0,02 \text{ кг} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ .

**Ответ: 0,6**

### **Заключение**

В методических рекомендациях для выполнения конкурсных заданий по математике для теоретического этапа Московского конкурса межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» в номинации «Инженерный класс» по единому направлению рассмотрен теоретический минимум для решения конкурсных задач по физике.