3.2.2. Магнитное поле в вакууме

Экзаменационные вопросы:

Электрическое поле равномерно движущегося заряда

* Определение величины движущегося заряда. Инвариантность движущегося заряда.
* Релятивистские законы преобразования напряженности электрического поля.
* Сила, действующая на электрический заряд, равномерно движущийся в электростатическом поле неподвижных относительно наблюдателя зарядов.
* Электрическое поле равномерно движущегося (с релятивистской скоростью) заряда.
* Релятивистская природа магнитных сил, возникающих между равномерно движущимися зарядами.

Магнитные взаимодействия

* Сила Лоренца. Введение вектора **В** в рамках нерелятивистского подхода через экспериментально установленные свойства силы Лоренца.
* Сила Ампера. Введение вектора **В** в рамках нерелятивистского подхода через экспериментально установленные свойства силы Ампера.
* Магнитный диполь. Вычисление магнитного момента элементарного магнитного диполя и конечного витка с током. Магнитный момент атома Резерфорда, обусловленный орбитальным движением электрона. Гиромагнитное отношение.
* Момент сил, действующий на магнитный диполь во внешнем магнитном поле. Введение вектора **В** в рамках нерелятивистского подхода через экспериментально установленные свойства момента сил, действующего на магнитный момент во внешнем магнитном поле.
* Принцип работы электродвигателя и классических приборов для измерения силы тока.

Магнитное поле в вакууме

* Магнитное поле, создаваемое равномерно движущимся зарядом и системой движущихся зарядов.
* Магнитное поле системы зарядов, движущихся с одинаковой постоянной скоростью. Примеры вычисления полей.
* Макроскопически усредненное магнитное поле пространственного распределения плотности тока.
* Закон Био-Савара-Лапласа. Примеры вычисления магнитных полей спомощью закона БСЛ. Магитное поле на оси конечного соленоида.
* Магнитное взаимодействие двух прямых бесконечных проводов с током как основа введения единиц силы тока и элктического заряда в системе СИ.

Интегральная и дифференциальная формы записи уравнений электростатики вакуума.

* Векторный потенциал. Градиентная инвариантность. Векторный потенциал однородного магнитного поля.
* Векторный потенциал равномерно движущегося заряда, системы зарядов, пространственных распределений токов.
* Уравнение Пуассона для векторного потенциала и его использование для сведения задач магнитостатики к задачам электростатики.
* Дифференциальная форма записи уравнений магнитостатики. Ее обоснование. Поперечная калибровка для векторного потенциала.
* Интегральная форма записи уравнений магнитостатики вакуума. Ее использование для вычисления магнитных полей симметричных распределений постоянных токов.

Вопросы к тестам

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.2.2.1. | Запишите выражение для силы Лоренца, действующей на движущийся заряд в магнитном поле. Проиллюстрируйте рисунком. |  |
| 3.2.2.2. | Дайте классическое определение вектора **В** через свойства силы Лоренца. |  |
| 3.2.2.3. | Запишите выражение для силы Ампера, действующей на движущийся заряд в магнитном поле. Проиллюстрируйте рисунком. |  |
| 3.2.2.4. | Дайте классическое определение вектора **В** через свойства силы Ампера. |  |
| 3.2.2.5. | Дайте определение магнитного момента элементарной петли с током. Проиллюстрируйте рисунком. |  |
| 3.2.2.6. | Запишите выражение для момента сил, действующих на магнитный момент в постоянном магнитном поле. Проиллюстрируйте рисунком. |  |
| 3.2.2.7. | Дайте классическое определение вектора **В** через свойства момента сил, действующих на магнитный момент в постоянном магнитном поле. |  |
| 3.2.2.8. | Дайте определение величины равномерно движущегося заряда. |  |
| 3.2.2.9. | Запишите релятивистский закон преобразования компонент электростатических полей при переходе в движущуюся СО. |  |
| 3.2.2.10 | Запишите релятивистский закон преобразования компонент сил при переходе в движущуюся СО. |  |
| 3.2.2.11 | Запишите выражение для силы, действующей на электрически заряженную релятивистскую частицу, равномерно движущуюся в однородном электрическом поле неподвижных относительно наблюдателя зарядов. |  |
| 3.2.2.12 | Нарисуйте систему силовых линий электрического поля, создаваемого равномерно движущимся с релятивистской скоростью зарядом и запишите выражение, определяющее зависимость модуля напряженности этого поля от расстояния до заряда и угла между вектором его скорости и направлением наблюдения. |  |
| 3.2.2.13 | Электрический заряд *q* равномерно движется со скоростью **v**. Нарисуйте картину линий поля **B** и запишите явное выражение для вектора **В** в произвольной точке пространства. |  |
| 3.2.2.14. | Нарисуйте два точечных заряда +*q* и –*Q,* движущихся в произвольных направлениях в произвольных точках пространства и нарисуйте действующие на них электрические и магнитные силы. |  |
| 3.2.2.15. | Запишите выражение для вектора **В,** создаваемого в точке **R** системой зарядов *q*j, движущихся в заданных точках **r**j с известными скоростями **v**j. |  |
| 3.2.2.16. | Запишите выражение для вектора **В,** создаваемого в точке **R** системой токов **j**j, текущих в заданных точках **r**j. |  |
| 3.2.2.17. | Запишите закон Био-Савара-Лапласа для поля В, создаваемого в точке пространства R постоянным током *I*, протекающим по проводнику известной формы. |  |
| 3.2.2.18 | Дайте определение векторного потенциала. |  |
| 3.2.2.19. | Запишите вид градиентного преобразования векторного потенциала, оставляющего неизменным соответствующее ему поле **В**. |  |
| 3.2.2.20. | Запишите выражение для векторного потенциала однородного магнитного поля **В**=В0·**е**z. |  |
| 3.2.2.21. | Запишите выражение для векторного потенциала **А,** создаваемого в точке **R** системой зарядов *q*j, движущихся в заданных точках **r**j с известными скоростями **v**j. |  |
| 3.2.2.22. | Запишите выражение для векторного потенциала **А,** создаваемого в точке **R** системой токов **j**j, текущих в заданных точках **r**j. |  |
| 3.2.2.23. | Запишите уравнение Пуассона для векторного потенциала. |  |
| 3.2.2.24. | Запишите условие поперечной калибровки для векторного потенциала и вид приводящего к выполнению этого условия градиентного преобразования в случае нарушения поперечности для известного векторного потенциала **A**(**R**). |  |
| 3.2.2.25 | Запишите уравнения магнитостатики вакуума в дифференциальной формулировке. |  |
| 3.2.2.26 | Запишите уравнения магнитостатики вакуума в интегральной формулировке. |  |
| 3.2.2.27 | Запишите выражение для поля **В** на расстоянии *h* от прямого бесконечного провода с постоянным током *I*. Нарисуйте картину линий поля **В**, создаваемого этим током. |  |
| 3.2.2.28. | Запишите выражение для поля **В** на высоте *h* на оси небольшого витка радиусом R, по которому протекает ток *I*. Нарисуйте вид линий векторного поля **В**, создаваемого этим витком. |  |
| 3.2.2.29. | Запишите явное выражение для векторного потенциала, создаваемого магнитным диполем в точке пространства **R**, расположенной на большом расстоянии от диполя. |  |
| 3.2.2.30. | Запишите явное выражение для магнитного поля **В**, создаваемого магнитным диполем в точке пространства **R**, расположенной на большом расстоянии от диполя. |  |
| 3.2.2.31. | Запишите выражения для поля **В** внутри и вне бесконечного соленоида без сердечника, по виткам которого течет постоянный ток *I*. Линейная плотность витков соленоида равна *n*. Сделайте поясняющий рисунок. |  |
| 3.2.1.32. | Запишите выражения для поля **В** внутри и вне тороидальной катушки без сердечника, по виткам которой течет постоянный ток *I*. Число витков катушки равно *N*. |  |

Задачи

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Р.3.2.2.1\* | Рассчитайте электрическое поле, создаваемое пролетающим через начало координат с направленной вдоль оси *х* постоянной скоростью *V* зарядом q в произвольной точке пространства с заданными координатами. | |  |
| Р.3.2.2.2\* | Релятивистская частица с начальным импульсом **p**0 влетает в однородное электрическое поле перпендикулярно его линиям. Рассчитайте величины продольных и поперечных составляющих скорости и импульса частицы в произвольный момент времени. Постройте графики зависимостей от времени найденных величин. | |  |
| Р.3.2.2.3 | Рассчитайте магнитное поле (вектор **В**), создаваемое бесконечной плоскостью, по которой течет постоянный ток c линейной плотностью *i* | |  |
| Р.3.2.2.4 | Рассчитайте поле **В** (укажите величину и направление) в точке, указанной на рисунке. |  |  |
| Р.3.2.2.4 | Рассчитайте поле **В** в точках, указанных на рисунке. |  |  |
| Р.3.2.2.5 | Найдите силу, действующую на единицу длины бесконечного прямого провода с оком *I*1 со стороны параллельного бесконечного прямого провода с током *I*2 , находящегося на расстоянии *h* от первого. | |  |
| Р.3.2.2.5\* | Рассчитайте поле **В** в центре конечного соленоида длиной *l*, радиусом *R* (без сердечника), имеющего *N* витков с током *I.* | |  |
| Р.3.2.2.6\* | По поверхности бесконечного цилиндра радиусом *R* вдоль его оси течет ток *I*. Вычислите векторный потенциал **A** и поле **B** в произвольной точке внутри цилиндра. | |  |
| Р.3.2.2.7\* | По поверхности бесконечного цилиндра радиусом *R* вдоль его оси течет ток *I*. Вычислите векторный потенциал **A** и поле **B** в произвольной точке вне цилиндра. | |  |
| Р.3.2.2.8\* | Покажите, что векторный потенциал магнитного диполя равен , где -магнитный момент диполя | |  |
| Р.3.2.2.9\* | Считая известным выражение для векторного потенциала диполя  (где -магнитный момент диполя) рассчитайте создаваемое им на больших расстояниях поле **В.** | |  |
| Р.3.2.2.5\*\* | Попытайтесь создать собственную программу, рассчитывающую конфигурацию полей А и В по заданной пользователем конфигурации сосредоточенных токов. | |  |