

**Э-01** Исходя из требования калибровочной симметрии, получите закон сохранения электрического заряда.

**Э-02** Система уравнений Максвелла-Лоренца в вакууме. Работа электрической и магнитной составляющей силы Лоренца. Закон сохранения электрического заряда.

**Э-03** Найдите правила преобразования компонент электрического и магнитного полей при переходе от одной ИСО к другой (относительная скорость направлена вдоль оси  $OY$ ). Какие комбинации электрического и магнитного полей при бусте вдоль  $OY$  не изменяются?

**Э-04** Найдите все независимые релятивистские инварианты электромагнитного поля. Докажите, что представленный список инвариантов исчерпывающий.

**Э-05** Найдите магнитное поле, порождаемое медленно (по сравнению со скоростью света) равномерно движущимся зарядом  $q$ , производя преобразование полей от системы отсчёта, в которой заряд покоится.

**Э-06** Найдите электрическое и магнитное поля равномерно и прямолинейно движущегося заряда  $q$ , производя преобразование полей от системы отсчёта, в которой заряд покоится.

**Э-07** Система уравнений Максвелла в пространстве, свободном от зарядов и токов. Электромагнитные волны. Поперечность электромагнитных волн, релятивистские инварианты электромагнитного поля.

**Э-08** Сформулируйте полевою версию теоремы Нётер. Получите выражение, определяющее сохраняющийся нётеровский ток. Прокомментируйте её использование на примере канонического тензора энергии-импульса электромагнитного поля.

**Э-09** Полевые уравнения Эйлера-Лагранжа. Действие для электромагнитного поля в присутствии зарядов и токов. Уравнения Максвелла «с источниками». Закон сохранения электрического заряда.

**Э-10** Тензор Максвелла: определение и свойства. Уравнения Максвелла «без источников».

**Э-11** Тензор Максвелла: определение и свойства. Преобразование  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  при переходе из одной инерциальной системы отсчёта в другую: на примере буста вдоль  $OZ$  и в общей форме.

**Э-12** Калибровочные преобразования. Инвариантность тензора Максвелла относительно калибровочных преобразований. Связь полей  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  с 4-векторным потенциалом  $A^\mu$ .

**Э-13** Убедитесь, что симметризованный тензор энергии-импульса электромагнитного поля калибровочно инвариантен; интерпретируйте его компоненты.

**Э-14** Выпишите действие для заряженной частицы в электромагнитном поле. Обсудите следствия его лоренцевой и калибровочной симметрий. Воспользуйтесь принципом экстремального действия, чтобы получить выражение, определяющее 4-силу Лоренца.

**Э-15** Получите связь между тензором энергии импульса системы заряженных частиц и плотностью 4-силы Лоренца.

**Э-16** Движущийся со скоростью  $\vec{v}$  электрон, попадает в однородные и взаимно перпендикулярные электрическое  $\vec{E}$  и магнитное  $\vec{B}$  поля. Скорость электрона перпендикулярна обоим полям. Найдите траекторию движения электрона.

**Э-17** Движущийся со скоростью  $\vec{v}$  электрон попадает в однородное магнитное поле  $\vec{B}$ , перпендикулярное его скорости. Охарактеризуйте траекторию, по которой будет двигаться электрон. Найдите работу силы, действующей на электрон.

**Э-18** Уравнения движения заряженной массивной частицы в электромагнитном поле. 4-сила Лоренца. Калибровочные преобразования. Инвариантность тензора Максвелла относительно калибровочных преобразований.

**Э-19** 4-вектор плотности тока. Уравнение Максвелла «с источниками». Закон сохранения электрического заряда.