Задачи по Теории поля

Рекомендуемая литература

Батыгин, В. & Топтыгин, И. (2002). *Сборник задач по электродинамике.* РХД.

Ландау, Л. & Лифшиц, Е. (2014). *Теоретическая физика. В 10 томах. Том 2. Теория поля. Учебное пособие для вузов.* ФИЗМАТЛИТ.

Из задач, предлагаемых к каждому семинару надо решить столько, чтобы набрать 10 баллов. Баллы за сложные задачи разбиты по подзадачам, соответственно необходимые 10 баллов можно собирать отдельно по этим подзадачам.

Семинар 1

Преобразование Лоренца. Матричная экспонента. Быстрота. Сокращение Лоренца. Собственное время.

- ***Задача 1 (2 балла):***

Длину стержня, движущегося вдоль свой оси в некоторой системе отсчета, можно измерять таким образом: измерять промежуток времени, в течение которого стержень проходит мимо фиксированной точки этой системы, и умножать его на скорость стержня. Показать, что при таком методе измерения получается обычное лоренцово сокращение.

- ***Задача 2 (2 балла):***

Рассмотрите ‘парадокс’ двух близнецов: близнец А всё время покоится, а близнец В сначала движется от А со скоростью v вдоль Ox, а потом с этой же скоростью движется обратно к нему. Когда они встречаются, близнец A постарел с момента расставания на время T, а близнец B оказался моложе, постарев на время $T_в < T$.

а) Выразите время $T_в$ через v и T.

б) Может возникнуть недоумение: ведь близнец B двигался с ускорением совсем немного, когда разворачивался в обратный путь. Во все остальные моменты можно сказать, что B покоился, а A двигался равномерно и прямолинейно. Постройте на плоскости Oxt мировые линии движения A и B и убедитесь, что в пространстве Минковского неравенство треугольника не имеет места.

- ***Задача 3 (4 балла):***

Рассмотрев инфинитезимально малые ортогональное преобразование и преобразование Лоренца, посчитайте количество независимых непрерывных параметров в этих преобразованиях.

а) Совершите N последовательных поворотов на угол ϕ/N вокруг оси Oz в трёхмерном пространстве, $N \to \infty$. Получите соответствующую матричную экспоненту.

б) Совершите N последовательных переходов Лоренца характеризующихся относительной скоростью движения систем отсчёта вдоль оси Ox со скоростью φ/N. С какой относительной скоростью v движутся первая и последняя система отсчёта? Параметр φ называется быстротой.

- ***Задача 4 (4 балла):***

Начало координат системы K' движется со скоростью $\mathbf{V} = (V_x, V_y)$ относительно системы K, а оси координат составляют со скоростью $\mathbf{V}$ те же самые углы, что и оси системы K. Записать матрицу преобразований Лоренца от системы K к системе K' (а также обратного преобразования).

а) (2 балла) Указание: представить радиус-вектор в виде суммы параллельного и перпендикулярного скорости $\mathbf{V}$ векторов: $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_\parallel + \boldsymbol{r}_\perp$, где $\boldsymbol{r}_\parallel = (\mathbf{r} \cdot \mathbf{V})\mathbf{V}/V^2\,, \quad \boldsymbol{r}_\perp = \boldsymbol{r} - (\mathbf{r} \cdot \mathbf{V})\,\mathbf{V}/V^2$.

б) (2 балла) Определить положение осей (x', y') в системе K в момент времени $t = 0$ по часам системы K.

Семинар 2

Масса покоя частицы. Полная энергия частицы. Масса составной системы.

- ***Задача 5 (2 балла):***

Найти скорость v частицы с массой m и зарядом q, прошедшей разность потенциалов U (начальная скорость частицы равна нулю). Упростить общую формулу для нерелятивистского и ультрарелятивистского случая (учесть по два члена разложения).

- ***Задача 6 (5 баллов):***

Определить относительную скорость сталкивающихся протонов в ускорителе со встречными пучками, если энергия протонов в каждом пучке 5000 ГэВ (приблизительные параметры LHC). Какова должна быть энергия налетающих протонов, чтобы столкновение с покоящимся протоном происходило с той же относительной скоростью? Энергия покоя протона равна 938.26 МэВ. В процессе решения задачи ответьте, в частности, на следующие вопросы:

а) (2 балла) Чему равен γ-фактор для протонов в лабораторной системе координат и в системе координат, где один из пучков покоится?

б) (2 балла) Чему равны абсолютные значения скорости и импульса частицы в ультрарелятивистском пределе, когда $\gamma \gg 1$? Свяжите непосредственно между собой импульс и скорость.

с) (1 балл) Посчитайте скорость протонов в лабораторной системе координат и относительную скорость сталкивающихся протонов.

- ***Задача 7 (6 баллов):***

Если коллайдер на встречных пучках работает в штатном режиме, то при столкновении двух протонов интересующая нас реакция X происходит с превышением её порога в α раз. Однако из-за неполадок

а) (3 балла) оба пучка имеют энергию, составляющую только часть ϵ от номинальной. При каком значении ϵ порог реакции X достигнут не будет?

б) (3 балла) один из двух пучков в коллайдере имеет энергию, составляющую часть ϵ от номинальной. При каком значении ϵ порог реакции X достигнут не будет? Пучки считать релятивистскими, так что $\gamma \gg \alpha^2$.

Семинар 3

Распад частиц на две

- ***Задача 8 (4 балла):***

π^0-мезон распадается на лету на два γ-кванта. Показать, что минимальный угол θ_{min} разлета γ-квантов определяется условием

$$\cos\frac{\theta_{min}}{2} = \frac{v}{c}$$

в той системе отсчета, в которой скорость π^0-мезона равна v.

- ***Задача 9 (10 баллов):***

Для нейтрино, образующихся при распаде $\pi^{\pm}$-мезонов с энергией 6 ГэВ (масса π-мезона $\approx$ 140 МэВ, масса μ-мезона $\approx$ 106 МэВ), определить энергетический спектр, их максимальную и среднюю энергии и угловое распределение, если известно, что в системе покоя π-мезона распад $\pi \to \mu + \nu$ происходит изотропно. При решении задачи ориентируйтесь на следующую последовательность действий:

а) (1 балл) Найдите энергию вылетающего нейтрино в системе отсчёта покоя π-мезона.

б) (2 балла) Оставаясь в этой системе отсчёта, запишите условие статистической изотропности распада π-мезона в сферических координатах; выберите θ' – угол между направлением движения π-мезона в лабораторной системе (ось Oz') и направлением вылета нейтрино. найдите плотность вероятности $\mathcal{P}'(\theta')$, описывающую направление вылета нейтрино.

в) (2 балла) Запишите закон преобразования Лоренца для 4-импульса нейтрино; для простоты вычислений считайте, что импульс нейтрино лежит в плоскости Oxz.

г) (2 балла) Установите закон преобразования угла $\theta(\theta')$ при переходе в лаборатоную систему координат

д) (3 балла) Релятивистским инвариантом является доля вероятности. Основываясь на этом, запишите закон преобразования для плотности вероятности, найдя $\mathcal{P}(\theta)$. Постройте график $\mathcal{P}(\theta)$, учитывая наличие большого параметра $\gamma \gg 1$.

е) (4 балла) Установите зависимость энергии нейтрино в лабораторной системе координат в зависимости от угла вылета, $\varepsilon(\theta')$. Найдите плотность вероятности $\mathcal{P}_\varepsilon(\varepsilon)$.

Семинар 4

Рассеяние частиц друг на друге

- ***Задача 10 (6 баллов):***

Для получения γ-квантов высокой энергии навстречу пучку электронов с энергией $\mathcal{E} = 200$ ГэВ выстреливает лазер с энергией фотонов $\varepsilon = 2$ эВ. Какую энергию будут иметь фотоны, рассеянные назад? Найти зависимость энергии фотонов от угла рассеяния (в т.ч. построить график). Указание:

- (3 балла) Записать условие сохранения импульса при столкновении. Для того, чтобы исключить неинтересный импульс электрона после столкновения, удобно его одного оставить в правой части уравнения. Затем возвести это равенство 4-векторов в квадрат.
- (3 балла) В задаче есть два малых параметра: отношение энергий налетающих друг на друга фотона и электрона, ε/E, и $1/\gamma$, где γ-фактор относится к налетающему электрону. Сравните относительное влияние этих двух параметров на зависимость энергии рассеянного фотона.

- ***Задача 11 (4 балла):***

Плоское зеркало движется со скоростью V в направлении своей нормали. На зеркало падает монохроматическая волна под углом θ к нормали. Определить направление и частоту отраженной волны, считая, что для покоящегося зеркала справедлив обычный закон отражения.

Семинар 5

Свойства стационарного электромагнитного поля

- ***Задача 12 (3 балла):***

В системе отсчёта S электрическое и магнитное поле взаимно перпендикулярны: $\mathbf{E} \perp \mathbf{H}$. С какой скоростью относительно S должна двигаться система S', в которой имеется только электрическое или только магнитное поле? Всегда ли существует решение и единственно ли оно.

- ***Задача 13 (3 балла):***

Показать, что однородное магнитное поле $\mathbf{H}$, направленное по оси z, может быть описано векторным потенциалом

$$\mathbf{A} = \{0, \mathrm{H}x, 0\}\,.$$

Калибровочным преобразованием перейти к потенциалу $\mathbf{A} = [\mathbf{H} \times \boldsymbol{r}]\,/2$.

- ***Задача 14 (2 балла):***

Какой вид имеет уравнение для потенциала покоящегося точечного заряда в случае калибровки потенциалов условием $\varphi = 0$? Чему в этом случае равен этот потенциал?

- ***Задача 15 (2 балла):***

В системе отсчета S имеется однородное электромагнитное поле $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$. С какой скоростью относительно S должна двигаться система S', в которой $\mathbf{E}'||\mathbf{H}'$? Всегда ли существует решение и единственно ли оно. Чему равны абсолютные величины $\mathbf{E}'$ и $\mathbf{H}'$?

Семинар 6

Движение частицы в однородном поле: движение частицы в однородном магнитном поле; дрейф частицы в однородных скрещенных сильном магнитном и слабом электрическом полях; движение частицы в однородном электрическом поле.

- ***Задача 16 (2 балла):***

Определить движение релятивистской частицы массы m и заряда e в однородном магнитном поле $\mathbf{H}$.

- ***Задача 17 (6 баллов):***

Найти движение релятивистской частицы массы m и заряда e в перпендикулярных однородных и постоянных электрическом и магнитном полях $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ в случае $|\mathbf{E}| < |\mathbf{H}|$. Определить скорость дрейфа. Предлагаемая схема решения:

а) Записать уравнение движения частицы в системе координат, в которой электрическое поле отсутствует. (Удобно выбрать такую систему координат, скорость движения которой относительно лабораторной имеет нулевую проекцию на магнитное поле.)

б) Записать траекторию движения частицы в лабораторной системе координат в параметрическом виде с временем в движущейся системе отсчёта в качестве параметра.

в) Изобразить траекторию движения частицы в проекции на плоскость, нормальную к магнитному полю

г) Для нерелятивистской частицы ($\gamma \approx 1$) уравнения движения оказывается несложным решить непосредственно в лабораторной системе координат. Записать уравнения движения и убедиться в этом.

- ***Задача 18 (2 балла):***

Найти движение релятивистской частицы массы m и заряда e в однородном электрическом поле $\mathbf{E}$.

- ***Задача 19 (4 балла):***

Найти движение релятивистской частицы массы m и заряда e в перпендикулярных однородных и постоянных электрическом и магнитном полях $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ в случае $|\mathbf{E}| > |\mathbf{H}|$. Определить направление движения на больших временах.

Семинар 7

Сила, действующая на магнитный диполь со стороны магнитного поля. Поле, создаваемое магнитным диполем. Адиабатический инвариант.

• ***Задача 20 (6+1 баллов):***

Получить формулу $\mathbf{F} = (\boldsymbol{\mu}\cdot\nabla)\mathbf{H}$ для силы, действующей на магнитный диполь в неоднородном постоянном магнитном поле. Указание:

- Точное выражение для силы действующей на систему токов с плотностью $\boldsymbol{j}(\boldsymbol{r})$ есть $\boldsymbol{F} = \frac{1}{c}\int \mathrm{d}^3\boldsymbol{r}\;[\boldsymbol{j}\times\mathbf{H}]$. Выбрав начало координат где-то внутри системы токов, представьте магнитное поле в виде аппроксимации $\mathbf{H}(\boldsymbol{r}) \approx \mathbf{H}\big|_{\boldsymbol{r}=0} + (\boldsymbol{r}\cdot\nabla)\mathbf{H}\big|_{\boldsymbol{r}=0}$.
- (1 балл) Покажите, что вклад от нулевого члена разложения в силу равен нулю
- (5 баллов) Вычислите вклад от первого члена разложения. Воспользуйтесь тем, что любому аксиальному вектору μ^i можно в однозначное соответствие поставить антисимметричный тензор $\mu^{ik} = -\mu^{ki} = \epsilon^{ikl}\mu^l$, а также тем, что из условия бездивергентности тока $\operatorname{div}\boldsymbol{j} = 0$ следует, в частности, тождество
$$\int \mathrm{d}^3\boldsymbol{r}\,(r^i j^k + r^k j^i) \;=\; \int \mathrm{d}^3\boldsymbol{r}\,\partial_m(r^i r^k j^m) \;=\; 0.$$
- (1 балл) Вычислите момент сил, действующих на магнитный диполь. Указание: Для этого достаточно знать только значение поля в окрестности системы.

• ***Задача 21 (4 балла):***

Нерелятивистская частица с массой m и зарядом e движется в однородном магнитном поле. Магнитное поле медленно меняется со временем — так, что изменение поля за период движения мало по сравнению с самим значением поля. Доказать, что величина $v_\perp^2/\mathrm{H}$ остаётся постоянной (т.е. является адиабатическим инвариантом), где $v_\perp$ есть проекция скорости частицы на плоскость нормальную к полю. Показать, что адиабатический инвариант пропорционален величине магнитного диполя, создаваемого движением частицы по окружности. Вычислить изменение радиуса орбиты и энергии частицы, если поле изменилось от значения H_1 до H_2. Указание:

- (2 балла) Определить изменение энергии частицы за один оборот — это работа, совершаемая вихревым электрическим полем.
- (2 балла) Составить конечно-разностное уравнение с шагом в один период, его интеграл является искомым адиабатическим инвариантом.

• ***Задача 22 (3 балла):***

Вычислить магнитное поле на далёких расстояниях от системы стационарных токов.

Семинар 8

Движение частицы в слабо неоднородном магнитном поле.

- ***Задача 23 (7 баллов):***

Найти уравнение движения ведущего центра орбиты заряженной нерелятивистской частицы и скорость дрейфа (заряд e и масса m). Поле слабо неоднородно, т.е. слабо меняется на расстояниях порядка радиуса орбиты. Указания:

- Разделите движение частицы с траекторией $\boldsymbol{r}(t)$ на быстрое движение (с большим ускорением) по окружности вокруг линии магнитного поля и на медленное движения (с малым ускорением) ведущего центра: $\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{R}(t) + \boldsymbol{\xi}(t)$. Разделите скорость движения частицы на комопненты вдоль и поперёк линии магнитного поля $\mathbf{H}$, $\dot{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{v}_{\perp} + \mathbf{h}v_{\parallel}$, $\mathbf{h} = \mathbf{H}/\mathrm{H}$ — единичный вектор направленный вдоль магнитного поля. В главном приближении $\dot{\boldsymbol{\xi}} = \boldsymbol{v}_{\perp}$.

- (1 балл) Определите величину магнитного диполя через $\mathbf{H}$ и $v_{\perp}$.

- (1 балл) Произведите усреднение уравнения движения частицы по одному периоду быстрого движения, получив уравнение на движения ведущего центра. Для быстрого движения надо воспользоваться результатом для силы действующей на магнитный диполь.

- (1 балл) Уравнение на ведущий центр надо решать методом последовательных приближений. Малый параметр в этой схеме — отношение $\xi/L \ll 1$, где L — характерный масштаб изменения магнитного поля. Для скорости движения ведущего центра это разложение имеет вид $\dot{\boldsymbol{R}} = \boldsymbol{V}_{\parallel} + \mathbf{V}_{\mathrm{d}}$, где $\boldsymbol{V}_{\parallel} = \mathbf{h}v_{\parallel}$ есть скорость движения вдоль линии магнитного поля, а $\mathbf{V}_{\mathrm{d}}$ — поперёк.

- (2 балла) Спроектируйте уравнение движения ведущего центра на направление магнитного поля. Найдите закон изменения $v_{\parallel}$. Покажите сохранение адиабатического инварианта.

- (2 балла) Спроектируйте уравнение движения ведущего центра на плоскость нормальную к магнитному полю. Найдите скорость дрейфа.

- ***Задача 24 (3 балла):***

По бесконечному прямому проводу течёт постоянный ток I. Найдите движения ведущего центра частицы, движущейся в магнитном поле этого провода. Сформулируете критерий применимости приближения слабо неоднородного магнитного поля.

- ***Задача 25 (7 баллов):***

Две соосные одинаковые катушки находятся на расстоянии L друг от друга, направление магнитного потока в них сонаправленное. По катушкам течёт ток I, погонная плотность намотки равна ρ. Радиус катушек R мал по сравнению с L, а их длина велика по сравнению с L. Кроме того, вдоль оси катушек приложено слабое однородное электрическое поле E. Частица начинает двигаться от положения по середине между катушками на их оси, причём скорость частицы составляет угол $(1-\epsilon)\pi/2$ с осью, где $\epsilon \ll 1$. Радиус ларморовской орбиты мал по сравнению с L. Описать дальнейшее движение частицы. Указание: магнитное поле в области посередине между катушками приблизьте квадратичной зависимостью в направлении оси катушек.

Семинар 9

Закон Кулона. Центрально-симметричное распределение зарядов и создаваемое ими поле. Мультипольное разложение. Дипольный и квадрупольный моменты.

- ***Задача 26 (4 балла):***

Заряды ядра и электронного облака в основном состоянии атома водорода образуют следующую объёмную плотность заряда

$$\rho(r) = e\delta(\boldsymbol{r}) - \frac{e}{\pi a^3} \exp\left(-\frac{2r}{a}\right),$$

где $e > 0$ — элементарный заряд, $a \sim 10^{-8}$ см — боровский радиус, а первое и второе слагаемое соответствуют ядру и электрону соответственно. Найти электростатический потенциал такой системы. Найти энергию взаимодействия электронного облака с ядром. Найти поправку к этой энергии, положив ядро равномерно заряженным шаром радиуса $r_{\text{я}} \sim 10^{-13}$ см.

- ***Задача 27 (2 балла):***

Определить потенциальную энергию взаимодействия двух точечных диполей с моментами $\mathbf{d}_1$ и $\mathbf{d}_2$.

- ***Задача 28 (4 балла):***

Найти тензор квадрупольного момента равномерно заряженного эллипсоида с зарядом Q и полуосями a, b и c относительно его центра. Найти электрическое поле на больших расстояниях, считая, что в центре эллипсоида находится компенсирующий точечный заряд $-Q$. Построить график угловой зависимости радиальной компоненты электрического поля в плоскости Oxy в случае, когда $2c^2 = a^2 + b^2$, $a > b$.

Семинар 10

Электромагнитные волны в вакууме. Гауссов монохроматический пучок, уравнение Шредингера, угол дифракции.

- ***Задача 29 (1 балл):***

Чему равна Фурье-амплитуда плоской монохроматической волны?

- ***Задача 30 (1 балл):***

Найти тензор энергии-импульса линейно поляризованной бегущей плоской монохроматической волны. То же для стоячей волны.

- ***Задача 31 (2 балла):***

Построить одномерный волновой пакет Ψ для момента времени $t = 0$, выбрав распределение амплитуд по волновым векторам в виде гаусового распределения

$$a_0 \exp\left[-\left(\frac{k-k_0}{\Delta k}\right)^2\right] \ ,$$

где $a_0, \ k_0, \ \Delta k$ - постоянные. Найти связь между шириной пакета Δx и интервалом волновых чисел Δk, вносящих основной вклад в суперпозицию.

- ***Задача 32 (2 балла):***

Волновой пакет Ψ образован суперпозицией плоских волн с разными частотами. Распределение амплитуд по частоте имеет вид:

$$a_0 \exp\left[-\left(\frac{\omega-\omega_0}{\Delta \omega}\right)^2\right] \ ,$$

(гауссово распределение), где $a_0, \ \omega_0, \ \Delta\omega$ - постоянные. Найти зависимость амплитуды пакета от времени в точке $x = 0$. Получить связь между длительностью волнового импульса Δt и интервалом частот $\Delta\omega$.

- ***Задача 33 (5 баллов):***

Рассмотрите распространение гауссового аксиально симметричного монохроматического пучка (частота ω, направление распространения вдоль оси Oz). Гауссов пучок имеет плоский фронт на выходе испускающего его устройства, так что при $z = 0$ характеризуется поперечным профилем амплитуды волны $\exp(-\rho^2/2\sigma_0)$ с действительным σ_0, где $\rho^2 = x^2 + y^2$ — квадрат поперечной координаты. Сечение пучка велико по сравнению с квадратом длины волны, то есть величина $\sigma_0 \gg \lambda^2$, где λ — длина волны.

- (1 балл) Запишите волновое уравнение, перейдя к комплексным амплитудам. Волна слабо отличается от бегущей монохроматической. Выделите в амплитуде волны соответствующий быстро осциллирующий множитель и напишите уравнение на медленно меняющуюся огибающую.

- (1 балл) Замените получившееся уравнение приближённым уравнением исходя из того, что огибающая меняется вдоль направления распространения гораздо медленнее чем поперёк него.
- (1 балл) Решите получившееся уравнение Шредингера.
- (1 балл) Рассмотрев далёкие расстояния, найдите угол дифракции: по определению, угол дифракции есть угол, на который расходится пучок при удалении от источника.
- (1 балл) По мере распространения пука волновой фронт перестаёт быть плоским. Изобразите форму волновых фронтов на расстояниях $z \ll k\sigma_0$ и $z \gg k\sigma_0$.

Семинар 11

Излучение волн нерелятивистскими источниками. Дипольное излучение; ближняя зона и волновая зона. Интенсивность излучения.

- ***Задача 34 (2 балла):***

Показать, что в волновой зоне при Лоренцевой калибровке потенциалов скалярный потенциал ограниченной излучающей системы может быть выражен через векторный потенциал формулой $\varphi = \mathbf{n} \cdot \mathbf{A}$.

- ***Задача 35 (2 балла):***

Записать уравнения, которому удовлетворяет векторный потенциал $\mathbf{A}$, если вместо лоренцевой калибровки

$$\mathrm{div}\mathbf{A} + \frac{1}{c}\frac{\partial\varphi}{\partial t} = 0$$

использовать калибровку потенциалов вида $\varphi = 0$.

- ***Задача 36 (6 баллов):***

Определить электрическое и магнитное поля гармонически колеблющегося диполя на расстояниях, много больших размеров диполя (но необязательно больших длины волны). Исходя из полученного общего результата, рассмотреть предельные случаи волновой и квазистатической зон.

- ***Задача 37 (2 балла):***

Определить излучение диполя d, вращающегося в одной плоскости с постоянной угловой скоростью Ω .

Семинар 12

Излучение одиночными движущимися с ускорением зарядами. Рассеяние света на свободных зарядах.

- ***Задача 38 (2 балла):***

Электрон движется по окружности в постоянном магнитном поле $\mathbf{H}$. Найти закон изменения его кинетической энергии во времени $\mathcal{E}(t)$. Найти траекторию электрона в нерелятивистском пределе $v \ll c$.

- ***Задача 39 (4 балла):***

Найти энергию излучения релятивистского электрона в однородном магнитном поле за один оборот, а также закон изменения энергии электрона и радиуса его орбиты со временем за счет потерь на излучение. Найти мощность синхротронного излучения в ускорителе на встречных пучках электронов и позитронов с энергией 100 ГэВ. Длина окружности ускорителя 30 км, число ускоряемых частиц в кольце — $5 \cdot 10^{12}$. Оценить характерную длину волны излучения.

- ***Задача 40 (4 балла):***

Определить частоту (ω') света, рассеянного движущимся зарядом. Считать, что в системе отсчёта, где электрон покоится, энергия квантов света (фотонов) мала по сравнению с его массой покоя.

Семинар 13

Запаздывающие потенциалы Лиенара-Вихерта

- ***Задача 41:***

Показать, что электрическое поле равномерно движущегося точечного заряда “сплющевается"в направлении движения. При этом происходит ослабление поля E на линии движения по сравнению с кулоновым полем. Как согласуется это ослабление с формулой преобразования $E_{\|} = E'_{\|}$?

- ***Задача 42:***

Найти потенциалы и поля φ, $\mathbf{A}$, $\mathbf{E}$, $\mathbf{H}$ точечного заряда q, движущегося равномерно со скоростью $\mathbf{V}$, произведя преобразование Лоренца от системы отсчёта, где заряд покоится.

- ***Задача 43:***

Релятивистский электрон пролетает со скоростью V через плоский конденсатор, к которому приложено переменное электрическое поле с частотой ω_0. Найти частоту излучения электрона в зависимости от угла θ между наблюдателем и направлением движения электронного пучка.