

Институт Естественных Наук и Экологии
Физико-Математический Колледж

"УТВЕРЖДАЮ"
Ректор ИНЕСНЭК

----- С.Т.Беляев

"-----"----- 1999 г.

ПРОГРАММА

по курсу

ТЕОРИЯ ПОЛЯ

для студентов 2 курса (I I семестр)

Лекции 32 часа

Практические (семинарские) занятия 32 часа

ВСЕГО ЧАСОВ 64

Самостоятельная работа 2 часа в неделю

Программу составил: д.ф.м.н. Зейн Николай Евгеньевич

ГРАФИК СДАЧИ ЗАДАНИЙ.

I задание - 1.03

II задание - 12.11

III задание - 17.12

ТЕОРИЯ ПОЛЯ

1. Принцип относительности и преобразования Лоренца. Постоянство скорости света, относительность одновременности, изменение длин и промежутков времени. Сложение скоростей. Аберрация и эффект Доплера. ([1]§1-6, [8]§1-6,24,25,[2] т 2, гл 15-17)
2. Описание движения материальной точки. Лагранжиан, гамильтониан и действие для точечной частицы. Энергия и импульс точечной частицы. Законы сохранения как следствия однородности пространства-времени. 4^x - векторы скорости и ускорения. ([1]§8-9,7, [8]§37,39, [2] т 6, гл 19)
3. Уравнения движения частицы во внешнем электромагнитном поле. Лагранжиан и гамильтониан частицы во внешнем электромагнитном поле. Тензор электромагнитного поля, преобразование E и H при переходе из одной системы в другую. ([1]§15-18,23,24)
4. Первая пара уравнений Максвелла. Инварианты поля. Функционал действия для электромагнитного поля. ([1]§25-27)
5. Ток и его сохранение. Вторая пара уравнений Максвелла как следствие вариационного принципа. ([1]§28-30)
6. Плотность и поток энергии электромагнитного поля. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля и пылевидной материи. ([1]§31-33, [3]гл 2 §8)
7. Калибровочная инвариантность уравнений Максвелла. Вид уравнений для 4^x - потенциалов в кулоновской калибровке и калибровке Лоренца. ([1]§18,62)
8. Поле системы неподвижных зарядов. Уравнение Пуассона и его решение. Мультипольное разложение. Поле стационарной системы токов. Магнитный момент. ([1]§36-38, 40-44)
9. Функция Грина волнового уравнения. Запаздывающий и опережающий потенциалы. ([6])
10. Интенсивность излучения в дипольном приближении. Поля E и H в волновой зоне диполя. Угловое и спектральное распределение дипольного излучения. ([1]§62,66,67,72)

11. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Интенсивность излучения магнитного диполя и квадруполья. ([1]§63,71,[6],[2] т 6, гл 21 §5)
12. Синхротронное излучение. Интенсивность излучения, оценки углового и спектрального распределений. Оценка длины формирования. Излучение ондулятора. ([2] т 3, гл. 34 §3, [1]§73,74, [7] гл 4,5)
13. Сила радиационного трения. Естественная ширина спектральной линии. Границы применимости классической электродинамики. ([1]§75,[6],[7] гл. 3)
14. Постановка задачи о рассеянии. Дифференциальное сечение рассеяния. Рассеяние света на свободном электроде. Когерентное и некогерентное рассеяние э.- м. волн на атоме. ([1]§78-80)
15. Принцип эквивалентности. Криволинейные координаты и метрический тензор в римановом пространстве. Аффинная связность. ([3] гл. 3 §1-4)
16. Связь между метрическим тензором и связностью. Геометрический смысл операции параллельного переноса. Ковариантное дифференцирование. Кривизна как мера удаления геодезических друг от друга. ([3] гл. 3 §3, гл 6 §10, [5] гл 2 §12, [4] т 1, гл. 11 §1,2)
17. Уравнения поля Эйнштейна. Получение уравнений поля из вариационного принципа. Ньютоновский предел. ([3] гл. 2 §8, [1] §94,95, 99)
18. Центральное-симметричное гравитационное поле. Стандартная (шварцшильдская) метрика. Решение Шварцшильда. Гравитационное красное смещение спектральных линий. ([3] гл. 2 §8, [1] §94,95, 99)
19. Движение в центральное-симметричном поле. Отклонение лучей света Солнцем. Радиальное движение: время падения по часам внешнего наблюдателя и собственным часам. Гравитационный коллапс и образование "черных дыр". ([3] гл. 8 §2, [1] §100, 101, 102, [4] гл. 25 §4,5)
20. Метрика однородного и изотропного мира. Решения уравнений Эйнштейна для Вселенной. Открытая и замкнутая Вселенная. Красное смещение и разбегание галактик. Постоянная Хаббла, "лестница космических расстояний". ([3] гл. 15 §1,3, [1] §111-114)

21. Модель горячей Вселенной. Гипотеза большого взрыва. Реликтовое излучение и его температура. ([3] гл. 15 §5)

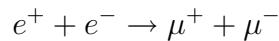
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список литературы

- [1] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц Теоретическая физика. т. 2. Теория поля. М.: Наука, 1988
- [2] Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1967.
- [3] Вейнберг С. Гравитация и космология. М.: Мир, 1975
- [4] К. Мизнер , К. Торн, Д. А. Уилер Гравитация М.: Мир, 1984,1996
- [5] Г. Вейль. Пространство, время, материя. Москва, "Янус", 1996
Дополнительная литература
- [6] Дж. Джексон Классическая электродинамика. М.: Мир, 1965
- [7] Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика М.: Наука, 1987
- [8] Паули В. Теория относительности М.: Наука, 1983

ЗАДАНИЕ 1

1. Определить относительную скорость сталкивающихся протонов в ускорителе со встречными пучками, если энергия протонов в каждом пучке ГэВ. Какова должна быть энергия налетающих протонов, чтобы столкновение с покоящимся протоном происходило с той же относительной скоростью?
2. Быстрые колебания блеска квазара указывают на существование выбросов сгустков релятивистских частиц, движущихся со скоростью v от его ядра. Найти видимую скорость движения сгустков в направлении перпендикулярном наблюдателю, если угол между направлением выброса и наблюдателем равен θ .
3. Фотон с энергией ε сталкивается с покоящимся электроном массы m . Определить энергию фотона после столкновения, если он рассеялся на угол θ . Определить энергию и направление движения электрона.
4. В ускорителе на встречных пучках идет реакция



Зная энергию каждого из пучков e^+ и e^- , найти энергию и импульсы μ^+ и μ^- . Каков энергетический порог этой реакции? Сравнить с порогом в случае, когда ускоренные позитроны падают на неподвижные электроны.

5. Для нейтрино, образующихся при распаде π - мезонов с энергией 6 ГэВ (масса π - мезона ≈ 140 МэВ, масса μ - мезона ≈ 105 МэВ), определить энергетический спектр, их максимальную и среднюю энергии и угловое распределение, если известно, что в системе покоя π - мезона распад $\pi \rightarrow \mu + \nu$ происходит изотропно.
6. 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.
7. Найти движение релятивистской частицы массы m и заряда e в перпендикулярных электрическом и магнитных полях \vec{E} и \vec{H} .

8. Релятивистский электрон влетает в резонатор, в котором статическое магнитное поле синусоидально меняется вдоль оси z : $\vec{H} = \{H_0 \cos(k_0 z), H_0 \sin(k_0 z), 0\}$. В начальный момент скорость электрона $\vec{v} = \{eH_0 c / Ek_0, 0, v_0\}$, где E - энергия электрона. Найти траекторию движения электрона. Найти поле в системе координат, движущейся со скоростью v_0 вдоль оси z . Какое переменное электрическое поле в лабораторной системе координат приводит к такому же движению электрона?

ЗАДАНИЕ 2

9. Определить электрическое и магнитное поле гармонически колеблющегося диполя на расстояниях, много больших размеров диполя (но необязательно больших длины волны).
10. Гармонически колеблющийся диполь помещен на высоте L над идеально проводящей металлической плоскостью. В пределе $L \ll \lambda$ и $L \gg \lambda$ найти интенсивность излучения диполя в зависимости от угла наблюдения и угла между диполем и нормалью к плоскости.
11. Два заряда $(e_1, m_1; e_2, m_2)$, благодаря кулоновским силам обращаются один вокруг другого по круговой орбите радиуса R . Определить энергию, теряемую на излучение за один оборот. Найти зависимость расстояния между зарядами от времени. Определить время, за которое один заряд упадет на другой.
12. Два одноименных заряда $(e_1, m_1; e_2, m_2)$, испытывают лобовое столкновение. Определить излученную энергию, если задана относительная скорость на бесконечности $v_\infty \ll c$. Рассмотреть случай $e_1/m_1 = e_2/m_2$ (квадрупольное излучение).
13. Найти энергию излучения релятивистского электрона в однородном магнитном поле за один оборот. Найти полную мощность (в мегаваттах) синхротронного излучения в ускорителе на встречных пучках электронов и позитронов с энергией 100 Гэв соответственно. Длина окружности ускорителя 30 км, число ускоряемых частиц в кольце - $5 \cdot 10^{12}$. Оценить характерную длину волны излучения.
14. Пучок релятивистских электронов пролетает через плоский конденсатор, к которому приложено переменное электрическое поле с частотой ω_0 . Найти частоту излучения электронов в зависимости от угла θ между наблюдателем и направлением движения пучка.

15. Сравнить энергию, излучаемую релятивистским электроном ($v \sim c$ при движении с ускорением w , направленным вдоль скорости (линейный ускоритель) и перпендикулярно к ней (синхротронный ускоритель)
16. Найти дифференциальное и полное сечения рассеяния естественного света (а также поляризованного) с частотой ω осциллятором с затуханием.
17. Найти дифференциальное и полное сечения рассеяния линейно поляризованного света на идеально проводящей металлической сфере радиуса R в пределе $R \ll \lambda$.
18. Найти дифференциальное сечение рассеяния э.-м. волн большой частоты на атоме.

ЗАДАНИЕ 3

19. Найти метрический тензор сферы в стереографической проекции.
20. В точке $\theta = \theta_0$, $\phi = 0$ на поверхности 2-сферы $ds^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2$ вектор \mathbf{A} равен \mathbf{e}_θ . Во что перейдет вектор \mathbf{A} после параллельного переноса вдоль окружности $\theta = \theta_0$? Чему равна величина вектора \mathbf{A} ?
21. Найти коэффициенты связности и кривизну 2-мерной и 3-мерной сфер.
22. Найти символы Кристоффеля и компоненты тензора кривизны Римана в 2-мерном пространстве - времени $ds^2 = dv^2 - v^2 du^2$.
23. Частица падает по радиусу в центр в сферически симметричном поле. Чему равна ее направленная к центру координатная скорость (dr/dt) , измеряемая по собственному времени на бесконечности, при некотором значении радиуса r ? Чему равна локально измеряемая скорость по отношению к неподвижному наблюдателю в точке с тем же значением радиуса?
24. Радиокомментатор ведет репортаж о своем падении по радиусу в шварцшильдовскую черную дыру. Перед самым пересечением шварцшильдовского радиуса его частота вещания начинает испытывать сильнейшее красное смещение $\exp(-t/\Delta t)$, где t определяется по собственному времени на бесконечности. Зная Δt , определить массу черной дыры.

25. Найти угол отклонения луча света Солнцем.
26. Найти величину гравитационного красного смещения света, испускаемого звездой массы M .
27. Найти кривизну и уравнения Эйнштейна для замкнутого Фридмановского мира при помощи метода геодезического лагранжиана.
28. Найти решение Фридмановских уравнений в случае когда преобладающий вклад в плотность ρ дает а) вещество, б) излучение.
29. Найти кривизну пространства времени для для плоской гравитационной волны.