

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

*Факультет физико-математических и естественных наук
Институт физических исследований и технологий*

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И КВАРКОВ

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

03.04.02 Физика

Направленность программы (профиль)

«Фундаментальная и прикладная физика»

1. Цели и задачи дисциплины:

Дисциплина «Теория элементарных частиц и кварков» входит в состав учебного цикла, предназначенного для магистров 2 курса по направлению «Физика». Целью курса «Теория элементарных частиц и кварков» является изложение фундаментальных сведений по методам квантовой механики и квантовой теории поля в применении к задачам физики элементарных частиц и кварков. В курсе даются основные представления о методах описания элементарных частиц и кварков и их взаимодействий в области высоких энергий. Курс опирается на квантовую механику, квантовую теорию поля, релятивистскую механику и электродинамику. Задача дисциплины «Теория элементарных частиц и кварков» состоит в том, чтобы студенты могли применять основные законы, правила и расчетные методы физики при решении конкретных теоретических и экспериментальных задач.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Теория элементарных частиц и кварков» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока №1 учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	Математические методы в физике	Теория атомного ядра и элементарных частиц

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: основы теории элементарных частиц и кварков, классификацию элементарных частиц, теорию о слабых взаимодействиях.

Уметь: проводить элементарные расчеты, а также вычислять необходимые параметры для элементарных частиц и кварков, и уметь правильно использовать знания по теории слабого взаимодействия.

Владеть: способностью оперировать углубленными знаниями в области математики и естественных наук; способностью выдвигать новые идеи; способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач; способностью внедрять результаты прикладных научных исследований в перспективные приборы, устройства и системы, основанные на колебательно-волновых принципах функционирования; способностью описывать новые методики инженерно-технологической деятельности.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
				5	6
Аудиторные занятия (всего)	68			36	32
В том числе:					
<i>Лекции</i>	34			18	16
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>					
<i>Семинары (С)</i>	34			18	16
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>					
Самостоятельная работа (всего)	76			36	40
Общая трудоемкость	час	144		72	72
	зач. ед.	4		2	2

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Классификация частиц по массам, спинам, взаимодействиям.	Стабильные и нестабильные частицы. Резонансы. Первые попытки классификации элементарных частиц по их массам и спинам. Современный подход к классификации частиц, основанный на их взаимодействиях. Элементарные и фундаментальные частицы. Кинематический и динамический подходы к классификации частиц. Использование более широких групп и более широких симметрий. Суперсимметрии. Предсказания новых частиц. Сравнение с экспериментом.
2	Мультиплеты частиц в группах SU(2), SU(3), SU(4)	Алгебра генераторов унитарных групп SU(N). Фундаментальные, сопряженные, приводимые и неприводимые представления групп SU(N). Схема Юнга. Мультиплеты нуклонов, скалярных и векторных мезонов, барионов и барионных резонансов. Массовые соотношения. Модель Ферми-Янга и модель Сакаты. Массовая формула Геля Манна-Окубо. Обобщенная модель Сакаты (кварки). Кварковая модель мезонов и барионов.
3	Дискретные симметрии C, P, T, CP, CT, CPT	Попытки объяснения непрерывного энергетического спектра электронов, испускаемых в процессах β^\pm -распада ядер. Различные интерпретации этого явления. Гипотеза Паули. Аналогия с электродинамикой. Гамильтониан слабого взаимодействия. Основы теории Ферми (V-вариант) β^\pm -распада ядер. Факторизация матричных элементов на лептонную и ядерную части в нерелятивистском приближении по импульсам нуклонов. Разрешенные и запрещенные переходы. Ферми переходы с сохранением спинов материнского и дочернего ядер и Гамов-Теллеровские переходы с изменением спинов. Примеры. Различия в матричных элементах переходов. Обобщение теории на случай суперпозиции S, V, A, T, P-вариантов при сохранении P-четности.

		пространственной четности. Предсказания Ли, Янга и эксперимент ВУ. Первые попытки объяснения несохранения Р-четности двухкомпонентностью безмассового нейтрино. Установление формы слабого V-λA взаимодействия. Распад поляризованного нейтрона и измерение спиральности нейтрино, испускаемых при β-распаде тяжелых ядер. С, Р, Т, СР, СРТ - симметрии в физике элементарных частиц. СРТ-теорема Людерса-Паули. Нарушение СР-симметрии в распадах κ-мезонов. Следствие нарушения Т-инвариантности в слабых взаимодействиях. Сравнение с опытом. Обобщение на все частицы. Диагональные и недиагональные процессы. Угол Кабиббо. Универсальность константы слабого взаимодействия G _F .
4	Типы нейтрино. Их свойства.	Дираковские, Вейлевские и Майорановские нейтрино. Электронные, мюонные и тауонные нейтрино. Лептонные числа. Различные законы их сохранения. Проблема массы нейтрино. Способы ее экспериментального определения. Нейтринные осцилляции и их классификация. Теоретические следствия и сравнение с экспериментальными данными. Атмосферные, солнечные, галактические и космические нейтрино. Их энергетический спектр. Способы экспериментального наблюдения и идентификации потоков различных типов нейтрино. Важность существования нейтрино для астрофизики.
5	Ток-токовая теория СЛВ	Достоинства и недостатки ток-токовой теории слабого взаимодействия. Простейшие обобщения. Теория с промежуточным векторным бозоном. Ее неперенормируемость. Общие представления о модели Вайнберга-Салама-Глэшоу.

6. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Семинары	СРС	Всего час.
1	Классификация частиц по массам, спинам, взаимодействиям.	6	6	12	24
2	Мультиплеты частиц в группах SU(2), SU(3), SU(4)	8	8	18	34
3	Дискретные симметрии С, Р, Т, СР, СТ, СРТ	6	6	16	28
4	Типы нейтрино. Их свойства.	8	8	18	34
5	Ток-токовая теория СЛВ	6	6	12	24

7. Лабораторный практикум – не предусмотрено

8. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	1.	Классификация частиц по массам, спинам, взаимодействиям	6

2.	2.	Мультиплеты частиц в группах SU(2), SU(3), SU(4)	6
3.	3.	Дискретные симметрии C, P, T, CP, CT, CPT	8
4.	4.	Типы нейтрино. Их свойства	8
5.	5.	Ток-токовая теория СЛВ	6

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория с мультимедийным проектором (ауд. 399).

Портативный электронный проектор (для аудиторий другого типа).

10. Информационное обеспечение дисциплины

а) пакет программ MS Office (текстовые документы - Microsoft Word, презентации - Power Point);

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС), учебный портал РУДН, Научная электронная библиотека РУДН.

11. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. С.М. Биленький. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов. М.: Энергоиздат, 1981. 283 с.
2. Б. Фелд. Модели элементарных частиц. М.: Мир, 1971. 340 с.
3. Р. Фейнман. Взаимодействие фотонов с ядрами. М.: Мир, 1975. 390 с.
4. Я.П. Терлецкий, Ю.П.Рыбаков. Электродинамика. М.: Высшая школа. 1990.
5. Л.Б. Окунь. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990. 346 с.
6. Ф.Клоуз. Кварки и партонны. М.: Мир, 1982. 371 с.

б) дополнительная литература

1. Н.Н. Боголюбов, А.А. Логунов, А.И. Оксак, И.Т. Тодоров. Общие принципы квантовой теории поля. М: «Наука», 1987, 616 с.
2. Ю.В. Новожилов. Введение в теорию элементарных частиц. М.: Наука, 1972. 472 с.
3. П.А.М. Дирак. К созданию квантовой теории поля: Основные статьи 1925 - 1958 годов. М.: Наука. 1990. 308 с.
4. П.А.М. Дирак. Лекции по квантовой теории поля. М.: Мир, 1971. 244 с.
5. Р. Фейнман. Квантовая электродинамика. М.: Мир, 1964. 220 с.
6. А.А.Соколов. Введение в квантовую электродинамику. М.: ГИФМЛ, 1958. 534 с.

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

Самостоятельная работа нужна при выполнении домашних заданий, для усвоения лекционного (теоретического) материала и для подготовки к контрольным работам.

Студенты обязаны сдавать задания в сроки, установленные преподавателем. Работы, предоставленные с опозданием, не оцениваются.

Студентам предлагается делать самостоятельные доклады с использованием источников из обязательной части литературы.

Студенты обязаны выполнять письменные работы (контрольные тестовые работы) в сроки, установленные преподавателем. График проведения письменных контрольных работ формируется в соответствии с календарным планом курса. Перечень вопросов письменной контрольной работы определяется программой курса. Контрольные работы не переписываются.

Использование источников (в том числе конспектов лекций и лабораторных занятий)

во время выполнения письменной контрольной работы возможно только с разрешения преподавателя.

Время, которое отводится студенту на выполнение письменной работы (контрольной тестовой работы), устанавливается преподавателем. По завершении отведенного времени студент должен сдать работу преподавателю, вне зависимости от того, завершена она или нет.

Необходимым условием освоения данного курса является обязательное посещение лекций, а также добросовестное и качественное выполнение домашних заданий. Для оценки знаний студентов применяется балльно-рейтинговая система.

В течение семестра студентам необходимо в соответствии с учебным планом выполнить 9 заданий по СРС, а также 1-2 контрольных (самостоятельных) и представить их на проверку преподавателю. В качестве полезных пособий для СРС рекомендуется использовать позицию 5 из основной литературы и позицию 2 из дополнительной. Студенту рекомендуется в ходе семестра вести «параллельный» конспект, добавляя к полученным на лекции сведениям дополнительные сведения из рекомендованной литературы.

Для итоговой аттестации по дисциплине студенту необходимо в установленные деканатом сроки сдать экзамен (как правило, в устной форме), включающий 3-4 вопроса по всем основным разделам курса. На подготовку к ответу отводится 45 минут, после чего проводится устный опрос студента.

Результаты письменных контрольных работ публикуются в течение недели на стенде и/или на сайте кафедры.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Теория элементарных частиц и кварков»

Направление/Специальность: 03.04.02 Фундаментальная и прикладная физика

Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП				Баллы темы	Баллы раздела
		Контрольная работа	Выполнение ЛР	Экзамен	Прочие формы контроля		
Ядерные реакции ПК-1	Стабильные и нестабильные частицы. Резонансы. Первые попытки классификации элементарных частиц по их массам и спинам. Современный подход к классификации частиц, основанный на их взаимодействиях. Элементарные и фундаментальные частицы. Кинематический и динамический подходы к классификации частиц. Использование более широких групп и более широких симметрий. Суперсимметрии. Предсказания новых частиц. Сравнение с экспериментом.		5	10		15	15
Распады ядер. ПК-1	Алгебра генераторов унитарных групп $SU(N)$. Фундаментальные, сопряженные, приводимые и неприводимые представления групп $SU(N)$. Схема Юнга. Мультиплеты нуклонов, скалярных и векторных мезонов, барионов и барионных резонансов. Массовые соотношения. Модель Ферми-Янга и модель Сакаты. Массовая формула Геля–Манна–Окубо. Обобщенная модель Сакаты (кварки). Кварковая модель мезонов и барионов.		5	10		15	15
Зарядовая симметрия сильных взаимодействий. ПК-1	Попытки объяснения непрерывного энергетического спектра электронов, испускаемых в процессах β^\pm -распада ядер. Различные интерпретации этого явления. Гипотеза Паули. Аналогия с электродинамикой. Гамильтониан слабого взаимодействия. Основы теории Ферми (V-вариант) β^\pm -распада ядер. Факторизация матричных элементов на лептонную и ядерную части в нерелятивистском приближении по импульсам нуклонов. Разрешенные и запрещенные переходы. Ферми переходы с сохранением спинов материнского и дочернего ядер и Гамов–Теллеровские переходы с изменением спинов. Примеры. Различия в матричных	15	5	10		30	30

	<p>элементах переходов.</p> <p>Обобщение теории на случай суперпозиции S, V, A, T, P-вариантов при сохранении P-четности.</p> <p>Несохранение пространственной четности. Предсказания Ли, Янга и эксперимент ВУ.</p> <p>Первые попытки объяснения несохранения P-четности двухкомпонентностью безмассового нейтрино.</p> <p>Установление формы слабого V-λA взаимодействия. Распад поляризованного нейтрона и измерение спиральности нейтрино, испускаемых при β-распаде тяжелых ядер.</p> <p>C-, P-, T-, CP-, CPT-симметрии в физике элементарных частиц. CPT-теорема Людерса-Паули. Нарушение CP-симметрии в распадах κ-мезонов. Следствие нарушения T-инвариантности в слабых взаимодействиях. Сравнение с опытом.</p> <p>Обобщение на все частицы. Диагональные и недиагональные процессы. Угол Кабиббо.</p> <p>Универсальность константы слабого взаимодействия G_F.</p>						
Уравнение Дирака. ПК-1	<p>Дираковские, Вейлевские и Майорановские нейтрино. Электронные, мюонные и тауонные нейтрино. Лептонные числа. Различные законы их сохранения.</p> <p>Проблема массы нейтрино. Способы ее экспериментального определения. Нейтринные осцилляции и их классификация. Теоретические следствия и сравнение с экспериментальными данными.</p> <p>Атмосферные, солнечные, галактические и космические нейтрино. Их энергетический спектр. Способы экспериментального наблюдения и идентификации потоков различных типов нейтрино. Важность существования нейтрино для астрофизики.</p>			10		10	10
Спин в теории Дирака. ПК-1	<p>Достоинства и недостатки ток-токовой теории слабого взаимодействия. Простейшие обобщения. Теория с промежуточным векторным бозоном. Ее неперенормируемость.</p> <p>Общие представления о модели Вайнберга–Салама–Глэшоу</p>	15	5	10		30	30
Итого		30	20	50		100	100

**Примерные варианты домашних заданий по курсу
«Теория элементарных частиц и кварков»**

1. Альфа-частицы с кинетической энергией $T = 6.5$ МэВ испытывают резерфордское рассеяние на ядре золота ^{197}Au . Определить: 1) параметр столкновения b для альфа-частиц, наблюдаемых под углом $\theta = 90^\circ$; 2) минимальное расстояние r_{\min} сближения альфа-частиц с ядром; 3) кинетическую (T) и 4) потенциальную (E') энергии альфа-частиц в этой точке.
2. Протон с кинетической энергией $T = 2$ МэВ налетает на неподвижное ядро ^{197}Au . Определить дифференциальное сечение рассеяния $d\sigma/d\Omega$ на угол $\theta = 60^\circ$. Как изменится величина дифференциального сечения рассеяния, если в качестве рассеивающего ядра выбрать ^{27}Al ?
3. Вычислить сечение рассеяния α -частицы с кинетической энергией $T = 5$ МэВ кулоновским полем ядра ^{208}Pb под углами больше 90° .
4. Активность препарата ^{32}P равна 2 мКи. Сколько весит такой препарат?
5. Во сколько раз число распадов ядер радиоактивного иода ^{131}I в течение первых суток больше числа распадов в течение вторых суток? Период полураспада изотопа ^{131}I равен 193 часам
6. Определить энергию W , выделяемую 1 мг препарата ^{210}Po за время, равное среднему времени жизни, если при одном акте распада выделяется энергия $E = 5.4$ МэВ.
7. Определить верхнюю границу возраста Земли, считая, что весь имеющийся на Земле ^{40}Ar образовался из ^{40}K в результате e -захвата. В настоящее время на каждые 300 атомов ^{40}Ar приходится один атом ^{40}K .
8. π^0 -мезон, кинетическая энергия которого равна энергии покоя, распадается на два γ -кванта, энергии которых равны. Каков угол между направлениями движения γ -квантов?
9. Определить частицы X , образующиеся в реакциях сильного взаимодействия:
1) $\pi^- + p \rightarrow K^- + p + X$; 2) $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^0 + X$; 3) $p + \bar{p} \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + X$.
10. Могут ли следующие реакции:
1) $\pi^- + p \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^-$; 2) $\pi^+ + p \rightarrow \Delta^{++} + \pi^0$; 3) $K^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \pi^0$ происходить в результате сильного взаимодействия.
11. Определить удельные ионизационные потери протонов в алюминии, если их кинетическая энергия равна: 1) 1 МэВ, 2) 10 МэВ, 3) 100 МэВ, 4) 500 МэВ, 4) 1 ГэВ.
12. Рассчитать отношение удельных ионизационных потерь протонов и α -частиц с одинаковой кинетической энергией 10 МэВ в железе.
13. Рассчитать отношение удельных ионизационных потерь для протонов с энергией 10 МэВ в углероде и свинце.
14. Определить удельные ионизационные потери и среднее число ионов на 1 см пробега в воздухе для α -частицы с энергией 10 МэВ. На образование одного иона в воздухе необходимо ≈ 35 эВ.
15. Реакция $n(K,\pi)\Lambda$ с начала 1960-х годов, после появления статьи [60], широко используется в экспериментах по изучению гиперядер, благодаря особенности ее кинематики, впервые замеченным М. И. Подгорецким. Именно: при определенном значении лабораторного импульса K -мезона, образовавшаяся Λ -частица оказывается покоящейся в лабораторной системе. Найдите это "магическое" значение импульса K -мезона. Проанализируйте полученную общую формулу. В реакциях какого типа могут быть подобные особенности?
16. Рассмотрите реакцию фоторождения мезона на покоящемся в лабораторной системе нуклоне (массу нуклона обозначим как M): $\gamma + N \rightarrow M + N$. Определите, при какой энергии фотона E_γ (и при каком соотношении между массами мезона M и нуклона) мезон в этой реакции может оказаться покоящимся в лаборатории.
17. Для распада $0 \rightarrow 1 + 2$ частицы 0 с массой M_0 на частицы 1 и 2 с массами m_1 и m_2 соответственно, выпишите формулы для полных энергий частиц 1 и 2, их кинетических энергий, а также отношения этих кинетических энергий.
18. Пусть имеется в лабораторной системе "родительская" частица 0 с 4-импульсом $\mathcal{P}_0 = (E_0, \mathbf{p}_0)$ (выберем направление оси Z по направлению импульса \mathbf{p}_0), и пусть она распадается с вылетом распадной частицы 1 с 4-импульсом $\mathcal{P}_1 = (E_1, \mathbf{p}_1)$. Под углом вылета этой распадной частицы

будем понимать угол между \mathbf{p}_1 и направлением оси Z. Чтобы его найти, достаточно вычислить инвариант $(\mathcal{P}_0 \cdot \mathcal{P}_1)$ в системе покоя распадающейся частицы и в лабораторной системе:

$$19. (\mathcal{P}_0 \cdot \mathcal{P}_1) = E_0 E_1 - \mathbf{p}_0 \mathbf{p}_1 = E_0 E_1 - p_0 p_1 \cos \theta_1 = E_0^* E_1^* .$$

19. Поскольку энергия и импульс распадающейся частицы известны, а энергия распадной частицы связана с ее импульсом и массой, то соотношение (6.4) можно считать уравнением, связывающим импульс распадной частицы с ее углом вылета. Покажите, что искомое решение уравнения (6.4) дается формулами (6.5) и (6.6):

$$p_1 = \frac{M_0 E_1^* p_0 \cos \theta_1 \pm E_0 \sqrt{D_1}}{E_0^2 - p_0^2 \cos^2 \theta_1}, \quad (6.5)$$

где

$$D_1 = M_0^2 p_1^{*2} - m_1^2 p_0^2 \sin^2 \theta_1. \quad (6.6)$$

20. Для распада $1 \rightarrow 2 + 3$ при условии, что массы частиц 2 и 3 равны нулю (пример: распад π^0 на два фотона) выведите соотношение

$$\sin \frac{\psi_{23}}{2} = \frac{m}{2\sqrt{E_2 E_3}}$$

и покажите с его помощью, что минимальный угол разлета ψ_{23}^{\min} получается, когда $\theta_2 = \theta_3$ (симметричные условия). Чему равен синус этого минимального угла? (См. также задачу 34.)

21. Можно связать с углом вылета распадной частицы и ее энергию; найдите это выражение сами и сравните с формулой (23) гл. II (параграф 2) в книге Г.И.Копылова [2].

22. Под углом разлета $\psi(E_1)$ распадных частиц в распаде $0 \rightarrow 1 + 2$ "на лету", когда в лабораторной системе 4-импульс распадающейся частицы равен (E_0, \mathbf{p}_0) , будем понимать угол между импульсами \mathbf{p}_1 и \mathbf{p}_2 при энергии распадной частицы 1 равной E_1 .

Прделайте самостоятельно выкладки, приводящие к формулам (6.12)-(6.14):

$$\cos \psi = \frac{E_1 E_2 - q^2}{p_1 p_2}. \quad (6.12)$$

$$\cos \psi = \frac{E_1(E_0 - E_1) - q^2}{\sqrt{E_1^2 - m_1^2} \sqrt{(E_0 - E_1)^2 - m_2^2}}. \quad (6.13)$$

причем предельные значения E_1 , очевидно, отвечают вылету частицы 1 в системе покоя 0 "назад" ($E_{1,\min}$) и "вперед" ($E_{1,\max}$). Соответственно,

$$E_{1,\min/\max} = \frac{E_0 E_1^* \mp p_0 p_1^*}{M_0}, \quad E_{1,\min} \leq E_1 \leq E_{1,\max}. \quad (6.14)$$

23. Продолжая анализ распада $0 \rightarrow 1 + 2$ "на лету", в случае, когда распадные частицы - фотоны, выведите формулы (6.16) и (6.17):

$$E_1 = \frac{E_0}{2} \pm \sqrt{\frac{E_0^2}{4} - \frac{M_0^2}{2(1 - \cos \psi)}}, \quad (6.16)$$

$$E_2 = \frac{E_0}{2} \mp \sqrt{\frac{E_0^2}{4} - \frac{M_0^2}{2(1 - \cos \psi)}}, \quad (6.17)$$

Проанализируйте эти формулы: всякие ли углы разлета разрешены? Как найти минимальный угол разлета?

24. Для упругого рассеяния типа $1 + 2 \rightarrow 1' + 2'$ найдите связь лабораторного угла рассеяния с углом рассеяния в системе центра масс. Выпишите формулу, связывающую тангенсы этих углов (или угла рассеяния в л.с. с половинным углом рассеяния в с.ц.м.).

25. 1) Пусть рассматривается реакция $a + T \rightarrow c + X$, имеющая порог при ненулевом импульсе снаряда a с ненулевой массой, который падает на покоящуюся в л. с. мишень T . Частица c регистрируется, а система X имеет минимально возможную массу M (недостающую массу) и не регистрируется. Дайте аналитический вывод соотношения между массой мишени и массой регистрируемой частицы, при выполнении которого всегда существует такое значение импульса снаряда, что условие "безотдачности" выполняется (т. е. импульс частицы c в л. с. равен нулю).
- 2) Справедливо ли это соотношение, если снаряд является фотоном?

**Примерные вопросы к итоговой аттестации по курсу
«Теория элементарных частиц и кварков»**

1. Ядра и частицы. Попытки их классификации.
2. Элементарные частицы и фундаментальные частицы. Семейства лептонов и кварков.
3. Общая характеристика 4-х типов взаимодействия элементарных частиц.
4. Основные свойства сильного (ядерного) взаимодействия.
5. Методы изучения ядерных сил.
6. Квантовая проблема 2-х тел.
7. Дейтрон в приближении центрального поля.
8. Проблема дейтрона с учетом нецентрального характера ядерных сил.
9. Магнитный дипольный и электрический квадрупольный моменты дейтрона.
10. Зарядовая симметрия и зарядовая независимость сильных взаимодействий.
11. Математический формализм изотопического спина.
12. Зарядовые функции системы из двух нуклонов.
13. Изотопический спин в теории поля. Группы $SU(2)$ и $SU(3)$.
14. Слабые взаимодействия. Основные свойства.
15. Теория Ферми слабого взаимодействия.
16. Общее описание процессов β -распада. S , V , T , A , P - варианты взаимодействия.
17. Разрешенные и запрещенные переходы.
18. Правила отбора Ферми и Гамова-Теллера.
19. Теория β -распада с учетом несохранения четности.
20. γ_5 - инвариантность и масса нейтрино.
21. Различные типы нейтрино. Законы сохранения лептонных зарядов.
22. Осцилляции нейтрино. Основная идея экспериментов по их наблюдению.
23. Классификация слабых токов (лептонные, иадронные, страные и нестранные, заряженные и нейтральные, 1-го и 2-го родов и т.д.). Гипотезы о токах.
24. Обнаружение нейтральных слабых токов.
25. Достоинства и недостатки ток-токовой теории СЛВ.
26. Первые попытки введения промежуточных бозонов.
27. Типы связей полей (типы пропагаторов).
28. Типы ренормируемых теорий поля. Примеры.
29. Калибровочные преобразования 1-го и 2-го рода. Калибровочная инвариантность.
30. Электромагнитная модель Барута-Вижье для атомов и ядер.
31. Атом водорода в модели «Барута-Вижье».
32. Дейтрон в модели «Барута-Вижье».
33. Возможные «нейтринные» атомы и молекулы в модели «Барута-Вижье».
34. Первые составные модели частиц. Гипотеза о кварках.
35. История введения кварков. Основные этапы.
36. Симметрия лептонов и кварков. Элементарные и фундаментальные частицы.
37. Классификация Дынкина простых алгебр Ли. Унитарные симметрии. Представления групп $SU(N)$. Схемы Юнга.
38. Динамика кварков. Простейшее квантовое описание взаимодействия кварков.
39. Связанные состояния кварков и антикварков. Кварконий.
40. Кварковая спектроскопия мезонов. Сравнение с экспериментальными данными.

41. Примеры других простейших вычислений в кварковой модели.
42. Вычисление зарядов адронов в кварковой модели.
43. Вычисление магнитных моментов адронов в кварковой модели.
44. Кварки на группе $SU(2)$. Системы из 2-х и 3-х кварков в $SU(2)$.
45. Кварки на группе $SU(3)$. Системы из 2-х и 3-х кварков в $SU(3)$.
46. Октеты и декуплеты адронов в $SU(3)$.
47. Полные волновые функции мезонов с определенной G -четностью.
48. Скейлинг и его нарушение. Партоновая модель.
49. Кварки в роли партонов.
50. Цветные кварки. Экспериментальное подтверждение гипотезы цвета.
51. Неабелевы калибровочные теории электромагнитного и слабого взаимодействий. Модель Вайнберга-Салама. Обобщение на кварки.
52. Основные понятия квантовой хромодинамики (КХД). Кварки и глюоны. Достоинства и трудности теории.
53. Приближенные кварковые модели КХД на решетке. Кварковые струны и мембраны. Мешки кварков.
54. Решение проблемы конфинмента кварков в различных моделях.
55. Возможные обобщения теории. Великое объединение. Субкварки и их простейшие модели.
56. Достоинства и недостатки кварковых моделей.
57. Кварки со спином на группе $SU(6)$. Волновые функции барионов в $SU(6)$.
58. G -четность мезонов. Гипотеза о сохранении G -четности.
59. Унитарный и пространственный спины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН

Руководитель направления 03.04.02

Директор института физических исследований
и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза