

Задачи к лекциям по B -физике

Никитин Николай Викторович

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобелъцына,
Московский Государственный Университет им.М.В.Ломоносова,
Москва, 119992, Россия*

Корпус высоких энергий НИИЯФ МГУ, комната 323, тел. 932-89-72

Аннотация

Представлены задачи к лекциям по B -физике. Лекции читаются в весеннем семестре 2005 года по понедельникам в 10³⁰ утра, аудитория 2-15 19-ого корпуса.

Задачи существенно дополняют материал лекций. Все задачи не выходят за рамки тех знаний и умений, которыми должен обладать студент пятого курса, специализирующийся в области ядерной физики и физики элементарных частиц. Например, предполагается, что студент должен иметь понятие о диаграммах Фейнмана, уметь вычислять простейшие процессы рассеяния и распадов по заданному гамильтониану, знать, как записывается кварковый состав и вычисляются квантовые числа простейших адронов.

Остальной материал, необходимый для решения задач, дается либо на лекциях, либо содержится в тексте задач.

Новые задачи выдаются после каждой лекции. Семинары не предусмотрены. Любые вопросы по условиям задач можно уточнить по указанному выше телефону или после любой из лекций. Для допуска к экзамену необходимо иметь письменное решение всех задач из задания.

Задачи к Лекции N1 Введение в B -физику

Задача N1 Нарисовать с учетом только низших порядков по сильному и электрослабому взаимодействиям фейнмановские графики, отвечающие распадам:

$$\begin{aligned}
 \bar{B}_d^0 &\rightarrow D^+ \ell^- \bar{\nu}_\ell, \\
 B_d^0 &\rightarrow D^- \rho^+, \\
 B_d^0 &\rightarrow D^+ \rho^-, \\
 B_d^0 &\rightarrow J/\psi K_S^0 \text{ и } B_d^0 \rightarrow J/\psi K_L^0 \\
 \bar{B}_d^0 &\rightarrow J/\psi K_S^0 \text{ и } \bar{B}_d^0 \rightarrow J/\psi K_L^0 \\
 B^+ &\rightarrow \ell^+ \nu_\ell, \\
 B^+ &\rightarrow \bar{D}^*(2007)^0 \ell^+ \nu_\ell, \\
 B^+ &\rightarrow \pi^+ \pi^0, \\
 B_s^0 &\rightarrow p \bar{p}, \\
 B_c^+ &\rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^+ \pi^-, \\
 \Upsilon(1S) &\rightarrow \rho^+ \pi^-, \\
 \Upsilon(1S) &\rightarrow \rho^0 \pi^0, \\
 \Upsilon(2S) &\rightarrow \Upsilon(1S) \pi^+ \pi^-, \\
 \Upsilon(4S) &\rightarrow B^+ B^- \text{ и } \Upsilon(4S) \rightarrow B_d^0 \bar{B}_d^0, \\
 \Lambda_b^0 &\rightarrow p K^-, \\
 \vartheta_b^+ &\rightarrow B^+ B^+ \pi^-, \\
 \Theta_b^+ &\rightarrow n B^+ \text{ и } \Theta_b^+ \rightarrow p B_d^0,
 \end{aligned}$$

где ϑ_b^+ – гипотетический "тетракварк" с кварковым составом $ud\bar{b}\bar{b}$, а Θ_b^+ также пока еще не открытый прелестный пентакварк с ожидаемым кварковым составом $uudd\bar{b}$. Обозначения остальных частиц являются стандартными.

Задача N2

- а)** Почему $\Upsilon(4S)$ распадается на $B_d^0 \bar{B}_d^0$ -пару, но не распадается на $B_s^0 \bar{B}_s^0$ -пару, хотя в обоих случаях фейнмановские диаграммы для таких распадов легко нарисовать?
- б)** Почему для π^+ -мезона распад $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ является доминирующим ($> 99,98\%$), в то время как B^+ -мезона такой распад не обнаружен (верхний экспериментальный предел со-

ставляет 0,0021%)?

в) Для пентакварка $\Theta^+(1540)$ с кварковым составом $uudd\bar{s}$, (вероятно открытого в 2003 году коллаборацией LEPS) утверждается, что его странность не возможно прямо измерить в распаде $\Theta^+(1540) \rightarrow pK^0$, поскольку основной модой, по которой экспериментально детектируется K^0 -мезон, является распад $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$, идущий за счет слабого взаимодействия, и, следовательно, нарушающий странность. А для прелестного пентакварка Θ_b^+ возможно ли прямо измерить его прелесть по распаду $\Theta_b^+ \rightarrow pB_d^0$?

г) Если воображаемый "тетракварк" ϑ_b^+ распадается по каналу, указанному в Задаче N1, то что можно сказать о его спине и пространственной четности, если согласно кварковым моделям они могут принимать одно из трех значений $J^P = \{0^+, 1^-, 1^+\}$ (Y.Kanada-En'yo et al., hep-ph/0502042)?

д) Парциальная ширина какого распада $B_s^0 \rightarrow \pi^+K^-$ или $B_s^0 \rightarrow \pi^-K^+$ больше и почему?

Задача N3

В начале 2003 года японская коллаборация LEPS (а вслед за ней вплоть до конца 2004 года еще десяток экспериментальных коллабораций) объявила об открытии странного пентакварка $\Theta^+(1540)$ с кварковым составом $uudd\bar{s}$. В 2004 году коллаборация H1 (ускорительный центр DESY, Германия) опубликовала результаты, которые могут свидетельствовать в пользу существования очарованного пентакварка Θ_c^0 с кварковым составом $uudd\bar{c}$. Исходя из этих скудных и пока не вполне надежных данных, оцените в каких из нижеперечисленных реакций возможно наблюдать странный и очарованный пентакварк:

$$B_d^0 \rightarrow \Theta_c^0 \bar{n},$$

$$B_d^0 \rightarrow \Theta_c^0 n,$$

$$B_d^0 \rightarrow \bar{\Theta}_c^0 n,$$

$$B_d^0 \rightarrow \bar{\Theta}_c^0 \bar{n},$$

$$B_d^0 \rightarrow \Theta^+(1540) \bar{p},$$

$$B_d^0 \rightarrow \bar{\Theta}^+(1540) p,$$

$$B_s^0 \rightarrow \Theta^+(1540) \bar{p},$$

$$B_s^0 \rightarrow \bar{\Theta}^+(1540) p,$$

$$B_c^+ \rightarrow \Theta^+(1540) \bar{n},$$

$$B_c^+ \rightarrow \Theta_c^0 \bar{p},$$

$$B_c^+ \rightarrow \bar{\Theta}_{cp}^0.$$

Задача N4

Исходя из простейшей "КХД-мотивированной" потенциальной модели боттомия с потенциалом кулоновского типа

$$V(r) = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r},$$

оценить величину $|\varphi_{\Upsilon}(0)|^2$ для $\Upsilon(1S)$, $\Upsilon(2S)$ и $\Upsilon(3S)$ -мезонов. Принять $\alpha_s \approx 0,36$. Какой из каналов $\Upsilon \rightarrow 3g \rightarrow hadrons$ или в $\Upsilon \rightarrow \gamma^* \rightarrow q\bar{q} \rightarrow hadrons$ вносит больший вклад в ширины распадов $\Upsilon(1S) - \Upsilon(3S)$?

Задача N5

В рамках модели доминантности векторных мезонов (VMD) распад $\Upsilon \rightarrow \ell^+\ell^-$ преимущественно идет через виртуальный фотон, то есть по схеме $\Upsilon \rightarrow \gamma^* \rightarrow \ell^+\ell^-$. Гамильтониан взаимодействия векторного мезона и фотона имеет вид

$$H_{VMD}(x) = -\frac{eM_{\Upsilon}^2}{f} \Upsilon_{\mu}(x) A_{\mu}(x),$$

где $\Upsilon_{\mu}(x)$ - поле Υ -мезонов, $A_{\mu}(x)$ - поле фотонов, e -модуль электрического заряда, f -неизвестная константа. Используя VMD-приближение, найти ширину распада $\Upsilon \rightarrow \ell^+\ell^-$, отношение ширин распадов Υ -мезонов на $\mu^+\mu^-$ и $\tau^+\tau^-$ пары. Определить неизвестную константу f для $\Upsilon(1S) - \Upsilon(4S)$ - мезонов. Одинакова ли константа f для всего семейства векторных Υ -мезонов?

Задачи к Лекции N2 Применение КХД к распадам Υ -частиц

Задача N6

а) Показать, что в КЭД тензор напряженности электромагнитного поля $F_{\mu\nu}(x) = \partial_\mu A_\nu(x) - \partial_\nu A_\mu(x)$ выражается через коммутатор "длинных" производных $D_\mu = \partial_\mu - ieA_\mu(x)$, $e = |e|$ по формуле

$$F_{\mu\nu} = \frac{i}{e} [D_\mu, D_\nu].$$

б) В КХД для *определения* тензора напряженности глюонного поля $G_{\mu\nu}^a(x)$ используется аналогичная формула:

$$G_{\mu\nu}^a t^a = \frac{i}{g_s} [D_\mu, D_\nu],$$

где "длинная" производная имеет более сложный вид $D_\mu = \partial_\mu - ig_s A_\mu^a(x) t^a$, $g_s = |g_s|$. Используя определение $G_{\mu\nu}^a$ через коммутатор, найти явный вид тензора напряженности глюонного поля через потенциал глюонного поля $A_\mu^a(x)$.

Задача N7

Выразить компоненты хромоматричного и хромоматричного полей через потенциал глюонного поля $A_\mu^a(x)$.

Задача N8

Показать, что если плотность лагранжиана $L(x) = L(\phi(x), \partial_\mu \phi(x))$ инвариантна относительно преобразований трансляции $x_\mu \rightarrow \tilde{x}_\mu = x_\mu + a_\mu$, где a_μ - постоянный вектор, то величина

$$T_{\mu\nu} = \frac{\partial L(x)}{\partial (\partial_\mu \phi(x))} \partial_\nu \phi(x) - g_{\mu\nu} L(x)$$

сохраняется, то есть $\partial_\mu T_{\mu\nu} = 0$ (частный случай общей теоремы Э.Нетер). $T_{\mu\nu}$ называется тензором энергии-импульса.

Задача N9

а) Из явного вида лагранжиана КХД получить выражение для тензора энергии-импульса кварковых полей $T_{\mu\nu}^{(q)}$.

б) Прямым вычислением показать, что $\partial_\mu T_{\mu\nu}^{KХД} = 0$ и $\partial_\mu \theta_{\mu\nu}^{KХД} = 0$.

в) Используя формулы для $T_{\mu\nu}^{KХД}$ и $\theta_{\mu\nu}^{KХД}$ найти выражение для $\Sigma_{\mu\nu\zeta}^{KХД}$ и показать, что оно антисимметрично по индексам μ и ζ (подсказку см. в книге И.В.Андреева "Хромодинамика и жесткие процессы при высоких энергиях", М. "Наука", 1981).

Задача N9

В системе единиц $\hbar = c = 1$ найти размерности действия, плотности лагранжиана, кварковых и глюонных полей в единицах размерности длины.

Задача N10

Прямым вычислением показать, что: $q_\lambda T_{\mu\nu\lambda}^{aa'} = \Delta_{\mu\nu}^{aa'(1)} + \Delta_{\mu\nu}^{aa'(2)}$.

Задача N11

Доказать, что в четырехмерном пространстве Минковского для линейно расходящегося интеграла верна формула:

$$\Delta(a_\mu) = \int d^4x [f(x_\mu + a_\mu) - f(x_\mu)] = 2i\pi^2 a_\zeta \lim_{x \rightarrow \infty} x^2 x_\zeta f(x_\mu).$$

Задача N12

Показать, что из-за существования треугольной аксиальной аномалии при взаимодействии кварков с фотонами в выражении для дивергенции тока $j_{\mu A}$ появляется дополнительное слагаемое

$$- \frac{N_f N_c \alpha_{em}}{\pi} \langle q_f^2 \rangle F_{\alpha\beta}^{(1)} \tilde{F}_{\alpha\beta}^{(2)},$$

а дивергенция тока $j_{\mu A}^3$ становится равной

$$\partial_\mu j_{\mu A}^3 = \frac{\alpha_{em}}{4\pi} F_{\alpha\beta}^{(1)} \tilde{F}_{\alpha\beta}^{(2)}.$$

Задача N13

Показать, что в киральном пределе при $(k_1 + k_2)^2 \ll 1 \text{ ГэВ}^2$ справедливо соотношение

$$\left\langle 0 \left| \frac{\alpha_s}{4\pi} G_{\alpha\beta}^a \tilde{G}_{\alpha\beta}^a \right| \gamma(k_1) \gamma(k_2) \right\rangle = \frac{N_c \alpha_{em}}{\pi} \langle q_f^2 \rangle F_{\alpha\beta}^{(1)} \tilde{F}_{\alpha\beta}^{(2)}.$$

Задача N14

Для псевдоскалярного мезона η' лептонная константа распада определяется следующим образом:

$$\langle 0 | \bar{u} \gamma_\mu \gamma_5 u + \bar{d} \gamma_\mu \gamma_5 d + \bar{s} \gamma_\mu \gamma_5 s | \eta'(p) \rangle = f_{\eta'} p_\mu.$$

Найти матричные элементы

$$\left\langle 0 \left| \frac{3\alpha_s}{4\pi} G_{\alpha\beta}^a \tilde{G}_{\alpha\beta}^a \right| \eta'(p) \right\rangle, \quad \left\langle 0 \left| \frac{3\alpha_s}{4\pi} G_{\alpha\beta}^a \tilde{G}_{\alpha\beta}^a \right| \eta(p) \right\rangle$$

и отношение

$$\frac{\Gamma(\Upsilon(1S) \rightarrow \eta' \gamma)}{\Gamma(\Upsilon(1S) \rightarrow \eta \gamma)},$$

если предположить, что оба этих распада идут через глюонную стадию с соответствующими квантовыми числами.

Литература к Лекции N2

1. М.Пескин, Д.Шредер, "Введение в квантовую теорию поля", М. "РХД", 2001, Глава 19.
2. Т.-П.Ченг, Л.-Ф.Ли, "Калибровочные теории в физике элементарных частиц", М. "Мир", 1987, Глава 6.
3. М.Б.Волошин, К.А.Тер-Мартirosян, "Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц", М. "Энергоатомиздат", 1984, раздел 17.3.
4. М.А.Шифман, "Аномалии и низкоэнергетические теоремы квантовой хромодинамики", УФН, т.157, вып.4, стр.561, 1989.
5. М.А.Шифман, "Низкоэнергетические теоремы КХД", в Материалах XXI зимней школы ЛИЯФ, стр.3, Л. 1986.
6. А.И.Вайнштейн, В.И.Захаров, В.А.Новиков, М.А.Шифман, "Квантовая хромодинамика и масштабы адронных масс", ЭЧАЯ, т.13, вып.3, стр.542, 1982, раздел 10.
7. И.В.Андреев, "Хромодинамика и жесткие процессы при высоких энергиях", М. "Наука", 1981, раздел "Приложения".
8. P.Moxhay, Phys.rev.D**37**, p.2557, 1988.
9. M.B.Voloshin, Nucl.Phys.B**154**, p.365, 1979.
10. J.F.Donoghue, E.Golowich, B.R.Holstein, "Dynamics of the Standard Model", CPU, 1996.

Задачи к Лекции N3 Эффективные теории для распадов тяжелых кварков

Задача N15

В слабом взаимодействии кварки могут менять свой аромат. Меняют ли они при этом цвет?

Задача N16

Сколько независимых параметров содержит СКМ-матрица размерности $N \times N$?

Задача N17

Получить из параметризации Кобаяши-Маскава параметризацию Вольфенштейна для СКМ-матрицы.

Задача N18

Какой из распадов $B_d^0 \rightarrow D^- \rho^+$ или $B_d^0 \rightarrow D^+ \rho^-$ можно наблюдать на современных ускорителях?

Задача N19

Рассмотрим распад $\bar{B}(p_1) \rightarrow D^+(p_2)\ell^-(k_1)\bar{\nu}_\ell(k_2)$. В приближении HQET $p_1 = M_B v_1$, $p_2 = M_D v_2$. Определим $q^2 = (k_1 + k_2)^2 = (p_1 - p_2)^2$ и $\omega = (v_1 v_2)$. Показать, что q^2 и ω связаны соотношением: $q^2 = M_B^2 + M_D^2 - 2M_B M_D \omega$.

Задача N20

Показать, что в приближении HQET операторы $\hat{P}_\pm = (1 \pm \hat{v})/2$ играют роль проекционных операторов, то есть что $\hat{P}_\pm^2 = \hat{P}_\pm$, $\hat{P}_\pm \hat{P}_\mp = 0$ и $\hat{P}_+ + \hat{P}_- = \hat{1}$. Чтобы не возникло недоразумений отметим, что "шляпка" над P_\pm обозначает оператор, а "шляпка" над v обозначает сокращение $\hat{v} = \gamma_\mu v_\mu$.

Задача N21

Показать, что эффективный КХД-лагранжиан HQET имеет вид

$$L_{KХД}^{HQET} = \bar{H}_v i(vD)H_v + \frac{1}{2m_Q} \bar{H}_v (i\hat{D}_\perp)^2 H_v + \frac{g_s}{4m_Q} \bar{H}_v (\sigma_{\mu\nu} G_{\mu\nu}^a t^a) H_v + \dots,$$

где D^μ - обычная "длинная" производная в КХД, $D_\perp^\mu = D^\mu - (vD)v^\mu$ - компонента "длинной" производной, ортогональная скорости тяжелого кварка v^μ . Для этого нужно сделать следующее:

а) показать, что в терминах полей $H_v(x)$ и $h_v(x)$ лагранжиан КХД с одним тяжелым кварком имеет вид

$$L_{KХД}^{HQET} = \bar{H}_v i(vD)H_v - \bar{h}_v [i(vD) + 2m_Q] h_v + \bar{H}_v i\hat{D}_\perp h_v + \hat{h}_v i\bar{D}_\perp H_v;$$

б) При помощи уравнений движения исключить поле $h_v(x)$ и привести лагранжиан к виду:

$$L_{KХД}^{HQET} = \bar{H}_v i(vD)H_v + \bar{H}_v (i\hat{D}_\perp) \frac{1}{i(vD) + 2m_Q} (i\hat{D}_\perp)H_v;$$

в) Разложить дробь во втором слагаемом в ряд по D/m_Q :

$$L_{KХД}^{HQET} = \bar{H}_v i(vD)H_v + \frac{1}{2m_Q} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{H}_v (i\hat{D}_\perp) \left[-\frac{i(vD)}{2m_Q} \right]^n (i\hat{D}_\perp)H_v;$$

г) Наконец, воспользовавшись соотношением

$$\hat{P}_+(i\hat{D}_\perp)(i\hat{D}_\perp)\hat{P}_+ = \hat{P}_+ \left[(i\hat{D}_\perp)^2 + \frac{g_s}{2} \sigma_{\mu\nu} G_{\mu\nu}^a t^a \right] \hat{P}_+$$

и определением тензора напряженности глюонного поля из Задачи N6, прийти к окончательному выражению для эффективного лагранжиана, приведенному в начале задачи.

Задача N22

Показать, что в приближении LEET операторы $\hat{P}_+ = \hat{n}\hat{v}/2$ и $\hat{P}_- = \hat{v}\hat{n}/2$ играют роль проекционных операторов, то есть что $\hat{P}_\pm^2 = \hat{P}_\pm$, $\hat{P}_\pm\hat{P}_\mp = 0$ и $\hat{P}_+ + \hat{P}_- = \hat{1}$. Чтобы не возникло недоразумений отметим, что "шляпка" над P_\pm обозначает оператор, а "шляпки" над v и n обозначают сокращения $\hat{v} = \gamma_\mu v_\mu$ и $\hat{n} = \gamma_\mu n_\mu$.

Задача N23

Показать, что в LEET приближении с точностью до $1/E_2$ лагранжиан КХД имеет вид

$$L_{KХД}^{LEET} = \bar{q}_+(x)\hat{v}i(nD)q_+(x).$$

Для этого надо сначала написать лагранжиан КХД в терминах полей $q_+(x)$ и $q_-(x)$, затем воспользоваться уравнениями движения для исключения $q_-(x)$ и наконец оставить только те слагаемые, в знаменателе которых не содержится никакой степени E_2 .

Задачи к Лекции N4 Осцилляции B -мезонов

Задача N24

Показать, что для B_q^0 -мезонов действие оператора зарядового сопряжения может быть записано в виде $\hat{C} |B_q^0\rangle = e^{i\alpha} |\bar{B}_q^0\rangle$, $\hat{C} |\bar{B}_q^0\rangle = e^{-i\alpha} |B_q^0\rangle$.

Задача N25

Проверить, что в базисе $B_q^0 \bar{B}_q^0$ коммутаторы $[\hat{C}, \hat{P}] = 0$, $[\hat{B}, \hat{P}] = 0$ и $[\widehat{CP}, \hat{B}] \neq 0$.

Задача N26

Найти явный вид состояний $|B_{q1}\rangle$ и $|B_{q2}\rangle$ в базисе $B_q^0 \bar{B}_q^0$ в результате решения задачи на собственные значения и собственные вектора оператора $\widehat{CP}_{B_q \bar{B}_q}$.

Задача N27

Найти явный вид операторов \hat{B} , \hat{P} и \widehat{CP} в базисе $B_{1q} B_{2q}$.

Задача N28

Показать, что в случае, если гамильтониан \hat{H}_{eff} инвариантен относительно CP -сопряжения, то в $B_q^0 \bar{B}_q^0$ -базисе его элементы H_{12} и H_{21} являются действительными числами. Кроме того $H_{12} = H_{21} = h$, где h -некоторое действительное число.

Задача N29

Показать, что разность масс $|B_h\rangle$ и $|B_l\rangle$ состояний возникает за счет $B_q^0 \bar{B}_q^0$ -осцилляций.

Задача N30

Показать, что временная эволюция состояний $|B_q^0(t)\rangle$ и $|\bar{B}_q^0(t)\rangle$ задается формулами:

$$\begin{aligned} |B_q^0(t)\rangle &= h_+(t) |B_q^0(0)\rangle + h_-(t) |\bar{B}_q^0(0)\rangle, \\ |\bar{B}_q^0(t)\rangle &= h_-(t) |B_q^0(0)\rangle + h_+(t) |\bar{B}_q^0(0)\rangle, \end{aligned}$$

где

$$h_+(t) = e^{-\Gamma t/2} e^{-iMt} \cos\left(\frac{\Delta M}{2} t\right), \quad h_-(t) = e^{-\Gamma t/2} e^{-iMt} \sin\left(\frac{\Delta M}{2} t\right).$$

Задача N31

Показать, что в случае некогерентного рождения $B_q^0 \bar{B}_q^0$ -пары

$$R_{ll} = \frac{r + \bar{r}}{1 + r\bar{r}} = \frac{x^2(2 + x^2)}{2 + 2x^2 + x^4}.$$

Задача N32

Показать, что в нереалистическом случае $M_W \gg m_t$ эффективный гамильтониан $B_q^0 \bar{B}_q^0$ -

осцилляций можно записать в виде

$$\hat{H}_{eff} = \frac{G_F^2}{16\pi^2} (V_{tq}^* V_{tb})^2 m_t^2 \hat{b}\gamma_\mu(1 - \gamma_5)q \hat{b}\gamma_\mu(1 - \gamma_5)q.$$

Литература к Лекции N4

1. Л.Б.Окунь, "Лептоны и кварки", М. "Наука", 1990, Глава 5.
2. Ю.Комминс, Ф.Буксбаум, "Слабые взаимодействия лептонов и кварков", М. "Энергоатомиздат", 1987, Глава 7.
3. М.А.Шифман, "Очарованные и прелестные частицы", УФН т.151, вып.2, стр.193, 1987.
4. А.И.Голутвин, М.В.Данилов, Ю.М.Зайцев, "Осцилляции B -мезонов", УФН т.157, вып.3, стр.369, 1989.
5. Я.И.Азимов, Н.Г.Уральцев, В.А.Хозе, "Осцилляционные эффекты и CP -несохранение в распадах нейтральных B -мезонов", Л. Материалы XXI Зимней школы ЛИЯФ, стр.178, 1986.
6. M.Visotsky, hep-ph/0307218.

Задачи к Лекциям N5 и N6 CP -нарушение и редкие распады

Задача N33

Приняв, что \hat{H}_{eff} диагонализуется состояниями $|B_h\rangle = p|B_q^0\rangle + q|\bar{B}_q^0\rangle$ и $|B_l\rangle = p|B_q^0\rangle - q|\bar{B}_q^0\rangle$, выразить отношение q/p через элементы \hat{H}_{eff} .

Задача N34

Записать $|B_h\rangle$ и $|B_l\rangle$ через $|B_{q1}\rangle$ и $|B_{q2}\rangle$ в случае, когда \hat{H}_{eff} не инвариантен относительно CP -сопряжения.

Задача N35

Исходя только из определений углов α , β и γ треугольника унитарности через СКМ-матричные элементы, показать что $\alpha + \beta + \gamma = \pi$.

Задача N36

Выразить угол β через фазу δ_{13} вольфенштейновской параметризации СКМ-матрицы.

Задача N37

Показать, что: $\frac{\langle K_S | \bar{K}^0 \rangle}{\langle K_S | K^0 \rangle} = \frac{V_{cs}V_{cd}^*}{V_{cs}^*V_{cd}}$.

Задача N38

- Оценить импульс B -мезонов, рождающихся на симметричных B -фабриках.
- Какова скорость $\Upsilon(4S)$ -мезона, рожденного на B -фабриках KEKB–BaBar и PEP-II–Belle в системе отсчета, связанной с детектором?

Задача N39

Какую форму может иметь треугольник унитарности при современном значении $\sin 2\beta$? Какая из этих форм реализуется скорее всего?

Задача N40

Помимо триггирования аромата B -мезона знаком лептона на современных B -фабриках аромат B -мезона также триггируют знаком каона. Именно, если $Q_K > 0$, то это \bar{B}^0 , если $Q_K < 0$, то $-B^0$. Обоснуйте данный метод с физической точки зрения.

Задача N41

Показать, что если величина

$$A_{CP}(K^+\pi^-) = \frac{N_{\bar{B}_d^0 \rightarrow K^-\pi^+} - N_{B_d^0 \rightarrow K^+\pi^-}}{N_{\bar{B}_d^0 \rightarrow K^-\pi^+} + N_{B_d^0 \rightarrow K^+\pi^-}} \neq 0,$$

то это означает существование прямого CP -нарушения в системах нейтральных B -мезонов.

Задача N42

Предположим, что в мире выполняется точное равенство масс $m_d = m_s = m_b$. Не проводя детальных вычислений найдите, чему в таком мире равны ширины распадов: $t \rightarrow cW^+W^-$, $t \rightarrow c\gamma$ и $t \rightarrow cl^+\ell^-$? Что поменяется, если c -кварк заменить на u ?