

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

2 (312)

НАУРЫЗ – СӘУІР 2017 Ж.

МАРТ – АПРЕЛЬ 2017 г.

MARCH – APRIL 2017

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев У.У. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошқаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Д. PhD докторы (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қырғыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.
Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. доктор PhD (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

E d i t o r i n c h i e f
doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

E d i t o r i a l b o a r d:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. PhD (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskiy I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 312 (2017), 54 – 57

E.M. Akzhigitova¹, V.O. Kurmangalieva¹, A.B. Arbuzov²

¹Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan;

²JINR, Dubna, Russia

kzo1994@mail.ru

**DESCRIPTION OF RADIATIVE MUON DECAY
USING MODEL-INDEPENDENT APPROACH**

Annotation. The purpose of this paper theoretical studies of the radiative muon decay $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_\mu \gamma$. This process is investigated in many modern experiments because appearance of a photon as a decay product allows one to obtain additional information about weak interactions and look for manifestations of the so-called "new physics".

Key words: muon decay, electroweak interaction, standard model etc.

Э.М. Акжігітова¹, В.О. Курмангалиева¹, А.Б. Арбузов²

¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²ОИЯИ, Дубна, Россия

**ОПИСАНИЕ РАДИОЦИОННОГО РАСПАДА МЮОНА
В МОДЕЛЬНО-НЕЗАВИСИМОМ ПОДХОДЕ**

Аннотация. Основная цель данной работы – теоретическое исследование радиационного распада мюона $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_\mu \gamma$. Этот процесс исследуется на многих современных экспериментах, потому что появление фотона в результате распада позволяет извлечь дополнительную информацию о слабых взаимодействиях и искать проявления так называемой «новой физики».

Ключевые слова: распад мюона, электрослабое взаимодействие, стандартная модель и т.д.

Введение

Слабое взаимодействие, ответственное в основном за распады элементарных частиц очень короткодействующее, радиус слабых взаимодействия около 10^{-17} см. А именно, слабое взаимодействие хорошо описывает β -распады, распад μ , распады тау-лептонов. Распад мюона $\mu^- \rightarrow e \bar{\nu}$ - это процесс, с которого обычно начинают изучение слабых распадов. Потому, что это чистый лептонный процесс, в нем не участвуют адроны.

В настоящее время радиационный распад мюона: $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_\mu \gamma$ исследуется на многих современных экспериментах, потому что появление фотона в результате распада описывается обобщенными параметрами Мишеля и имеет большую чувствительность к другим проявлениям «новой физики». И сейчас этот эксперимент актуален и интересен. Эксперименты на *LHC (The Large Hadron Collider)*, *Belle* и *Babar* уже по распадам τ -лептона проведены [1]. И нашей задачей является описание радиационного распада мюона в модельно-независимом подходе с учетом точной зависимости $(\frac{m_e}{m_\mu})$, которое не было в прошлом сделано.

Распад мюона в Стандартной модели

Мы рассматриваем распад $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ с учетом точной зависимости от массой электрона. Мюон дает уникальные данные о слабых взаимодействиях. Лагранжиан распада мюона для общих четырех - фермионных соединений с десятью комплексными параметрами выражается в виде:

$$L_{\mu \rightarrow e \bar{\nu}} = \frac{4G_F}{\sqrt{2}} \left[g_{RR}^S (\bar{e}_R \nu_{eL}) (\bar{\nu}_{\mu L} \mu_R) + g_{RL}^S (\bar{e}_R \nu_{eL}) (\bar{\nu}_{\mu R} \mu_L) + g_{LR}^S (\bar{e}_L \nu_{eR}) (\bar{\nu}_{\mu L} \mu_R) + g_{LL}^S (\bar{e}_L \nu_{eR}) (\bar{\nu}_{\mu R} \mu_L) + g_{RR}^V (\bar{e}_R \gamma^\mu \nu_{eR}) (\bar{\nu}_{\mu R} \gamma^\mu \mu_R) + g_{RL}^V (\bar{e}_R \gamma^\mu \nu_{eR}) (\bar{\nu}_{\mu L} \gamma^\mu \mu_L) + g_{LR}^V (\bar{e}_L \gamma^\mu \nu_{eL}) (\bar{\nu}_{\mu R} \gamma^\mu \mu_R) + g_{LL}^V (\bar{e}_L \gamma^\mu \nu_{eL}) (\bar{\nu}_{\mu L} \gamma^\mu \mu_L) + \frac{g_{RL}^T}{2} (\bar{e}_R \sigma^{\mu\nu} \nu_{eL}) (\bar{\nu}_{\mu R} \sigma_{\mu\nu} \mu_L) + \frac{g_{LR}^T}{2} (\bar{e}_L \sigma^{\mu\nu} \nu_{eR}) (\bar{\nu}_{\mu L} \sigma_{\mu\nu} \mu_R) + H.c. \right], \quad (1.1)$$

В стандартной модели (СМ) распад мюона описывается $V-A$ взаимодействием. В расширениях стандартной модели, любые новые взаимодействия мюонов могут проявляться в таких наблюдаемых в распаде $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$, как энергетический спектр электрона, угловое распределение электрона, когда мюон поляризованный, и спиновая поляризация электрона. Дифференциальная ширина распада мюона определяется формулой [2]:

$$\frac{d^2 \Gamma(\mu^\pm \rightarrow e^\pm \bar{\nu}_e \nu_\mu)}{dx d\cos\vartheta} = \frac{m_\mu}{4\pi^3} W_{e\mu}^4 G_F^2 \sqrt{x^2 - x_0^2} \times (F_{IS}(x) \pm P_\mu \cos\theta_e F_{AS}(x)) \times [1 + \vec{P}_e(x, \theta_e) \cdot \zeta], \quad (1.2)$$

где $W_{e\mu} = (m_\mu^2 + m_e^2)/(2m_\mu)$, $x = E_e/W_{e\mu}$, и $x_0 = m_e/W_{e\mu} (9.7 \times 10^{-3}) \leq x \leq 1$. E_e энергия электрона, и m_e, m_μ соответственно массы электрона (позитрона) и мюона (антимюона). В формуле (1.2) знак плюс (минус) зависит от распада μ^\pm , и θ_e угла между поляризацией мюона P_μ и момента e^\pm , и ζ - измеренный направленный вектор поляризации спина e^\pm . Вдобавок, $\vec{P}_e(x, \theta_e)$ является вектором поляризации электрона (или позитрона). Функции $F_{IS}(x)$ и $F_{AS}(x)$, соответственно, изотропные и анизотропные составные части энергетического спектра e^\pm . Они имеют вид:

$$F_{AS}(x) = \frac{1}{3} \xi \sqrt{x^2 + x_0^2} (1 - x + \frac{2}{3} \delta [4x - 3 + (\sqrt{1 - x_0^2} - 1)]), \quad (1.3)$$

$$F_{IS}(x) = x(1 - x) + \frac{2}{9} \rho (4x^2 - 3x - x_0^2) + \eta x_0 (1 - x). \quad (1.4)$$

Такие константы, как ξ, ρ, δ и η называются параметрами Мишеля. Мы рассматриваем распад $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ с учетом точной зависимости от массы электрона. Дифференциальное распределение по доле энергии электрона $x \equiv \frac{2E_e}{m_\mu}$, как мы видим, описывается четырьмя параметрами Мишеля: δ, ρ, ξ и η . И их значения в рамках стандартной модели $\rho = 3/4, \eta = 0, \delta = 3/4, \xi = 1$. Параметры Мишеля учитывают возможные вклады «новой физики», они будут определены ниже. При изучении распада мюона $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ на эксперименте TWIST (Ванкувер) получили параметры Мишеля с точностью до 10^{-4} . Они согласуются с предсказанием стандартной модели с учетом экспериментальных погрешностей. Поляризацию электрона в экспериментах измерить очень трудно, поэтому ниже ее не учитываем. Малая величина $x_0 = \frac{m_e}{W_{e\mu}} (9.7 \times 10^{-3}) \leq x \leq 1$ является нижней границей спектра энергии рождающегося электрона, обычно ей можно пренебречь. Тогда формула (1.2) приходит к более простому виду:

$$\frac{d^2 \Gamma(\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu)}{dx d\cos\theta_e} = \frac{m_\mu^5 G_F^2}{192\pi^3} x^2 [(3 - 2x) \pm P_\mu \cos\theta_e (2x - 1)], \quad (1.5)$$

Для общего вида взаимодействий формула для времени жизни мюона приходит к виду:

$$\tau_\mu^{-1} = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{192\pi^3} \left[F \left(\frac{m_e^2}{m_\mu^2} \right) + 4\eta \frac{m_e}{m_\mu} G \left(\frac{m_e^2}{m_\mu^2} \right) - \frac{32}{3} \left(\rho - \frac{3}{4} \right) \left(\frac{m_e^2}{m_\mu^2} \right) \left(1 - \frac{m_e^4}{m_\mu^4} \right) \right] \times \left(1 + \frac{3}{5} \frac{m_\mu^2}{m_W^2} \right) \left[1 + \frac{\alpha(m_\mu)}{2\pi} \left(\frac{25}{4} - \pi^2 \right) \right], \quad (1.6)$$

где $G(r) = 1 - 9r - 9r^2 - r^3 + 6r(1 + r) \ln r$. Радиационные поправки, основанные на СМ в уравнении, используются в нормальном процессе распада мюона, так как преобладает вклад СМ.

Из уравнения (1.6), мы видим, что поправка от параметра η пропорциональна $O\left(\frac{m_e}{m_\mu}\right)$, тогда как вклад, пропорциональный отклонению параметра ρ от своего значений в СМ очень маленький, т.к. подавлен фактором $\left(\frac{m_e^2}{m_\mu^2}\right)$. Поскольку параметр η в настоящее время измеряется с точностью около 1%, погрешность от коррекции η вносит неопределенность порядка 10^{-4} , когда оцениваем времени жизни мюона не в рамках СМ.

В Стандартной модели распада мюонов описываются взаимодействием векторных токов, образованные левыми фермионами. В то же время, многие модели за пределами СМ предсказывают вклады других видов. Поскольку энергетический масштаб «новой физики» (скорее всего) выше, чем электрослабый масштаб, соответствующие вклады могут быть параметризованные четырех-фермионными взаимодействиями различных токов и константой связи. Матричный элемент распада мюона может быть представлен в общем виде:

$$M = \frac{4G_0}{\sqrt{2}} \sum_{\substack{\gamma=S,T,V \\ \varepsilon,w=R,L}} g_{\varepsilon w}^\gamma \langle \bar{l}_\varepsilon | I^\gamma | \nu_l \rangle \langle \bar{\nu}_\tau | I_\gamma | \tau_w \rangle, \quad (1.7)$$

В формуле 1.7, индекс γ обозначает тип взаимодействия: скалярное (S), векторное (V) или тензорное (T), где I^γ матрицы вида 4×4 и выражаются через матрицы Дирака:

$$I^S = 1, I^V = \gamma^\mu, I^T = \frac{1}{\sqrt{2}} \sigma^{\mu\nu} = \frac{i}{2\sqrt{2}} (\gamma^\mu \gamma^\nu - \gamma^\nu \gamma^\mu), \quad (1.8)$$

Индексы ε и w обозначают киральность соответственно начальных и конечных заряженных лептонов. Для заданных (ε, w) киральность нейтрино однозначно определяется. Тензорные взаимодействия могут содействовать только для противоположных киральностей заряженных лептонов. Это приводит к существованию 10 комплексных констант связи, $g_{\varepsilon w}^\gamma$. Стандартная модель предсказывает что $g_{LL}^V = 1$, а все остальные константы равны нулю. Удобно использовать следующие условие нормировки [3],[4]:

$$N \equiv \frac{1}{4} (|g_{LL}^S|^2 + |g_{LR}^S|^2 + |g_{RL}^S|^2 + |g_{RR}^S|^2) + (|g_{LL}^V|^2 + |g_{LR}^V|^2 + |g_{RL}^V|^2 + |g_{RR}^V|^2) + 3(|g_{LR}^T|^2 + |g_{RL}^T|^2) = 1. \quad (1.9)$$

Это условие соответствует использованию значения константы Ферми, извлеченное из времени жизни мюона. Эта нормировка ограничивает допустимые диапазоны констант связей до $|g^S| \leq 2$, $|g^V| \leq 1$, $|g^T| \leq \frac{1}{\sqrt{3}}$. Мы должны отметить, что точность измерения времени жизни мюонов намного выше, чем время полученное по определению с константой связи G_{Fermi} . Параметры Мишеля – билинейные комбинации констант связи $g_{\varepsilon w}^\gamma$.

Радиационный распад мюона

С момента открытия мюона в 1936 году, экспериментальные и теоретические исследования его свойства стали важной частью физики элементарных частиц. В настоящее время, радиационный распад мюона [7]:

$$\mu^-(p_\mu) \rightarrow e^-(p_e) + \nu_\mu(k_1) + \bar{\nu}_e(k_2) + \gamma(p_\gamma), \quad (1.10)$$

исследуется во многих современных экспериментах. Точное его измерение может дать информацию о структуре электрослабых процессов. В модели Ферми 4-фермионного взаимодействия дифференциальная ширина радиационного распада мюона впервые была рассмотрена в конце пятидесятых годов. Проверить теоретические характеристики для радиационного распада $\mu \rightarrow e \bar{\nu}_\mu \gamma$, с появлением фотона, экспериментально было трудно, поскольку вероятность радиационного распада маленькая $\sim 10^{-4}$ по сравнению с распадом $\mu \rightarrow e \bar{\nu}_\mu$. Радиационный распад мюона интересен, потому что форма спектра содержит различные угловые корреляции, в частности, между направлением спина мюона и импульсом фотона. Это позволяет извлечь из эксперимента дополнительную информацию о слабых взаимодействиях. В борновском приближении дифференциальное распределение имеет вид:

$$\frac{dB(\mu^\pm \rightarrow e^\pm \bar{\nu}_\mu \gamma)}{dx dy d\Omega_e d\Omega_\gamma} = \frac{\alpha K \mathcal{E} D \beta_e}{64\pi^3 y} [F(x, y, d) \mp \beta_e P_\mu \cos \theta_e G(x, y, d) \mp \beta_e P_\mu \cos \theta_\gamma H(x, y, d)],$$

$$d = 1 - \beta_e \cos \theta_{e\gamma}, \quad \beta_e = \sqrt{1 - \frac{m_e^2}{E_e^2}}, \quad (1.12)$$

где $\Omega_{\gamma e}$ представляют собой телесные углы наблюдаемых частиц конечного состояния; θ_e и θ_γ углы между спином мюона и импульсами электрона и фотона, соответственно; P_μ поляризация мюона; $\theta_{e\gamma}$ угол между импульсами электрона и фотона; y и z доля энергии электрона и фотона, соответственно, $x \equiv 2E_e/m_\mu$ и $y \equiv 2E_\gamma/m_\mu$, β_e – релятивистская скорость электрона в системе покоя мюона.

Функции F , G и H являются полиномами отношения массы электрона к массе мюона [5],[6]:

$$F(x, y, d) = \sum_{k=1}^5 (m_e/m_\mu)^k F^{(k)}, \quad F \equiv F(x, y, d), \quad G(x, y, d), \quad H(x, y, d), \quad (1.13)$$

Эти функции зависят от обобщенных параметров Мишеля ρ , η , α , δ , k , $\bar{\eta}$, ζ и β , которые можно посмотреть в приложении В. Зависимость от k , $\bar{\eta}$, α и β предоставляют важную дополнительную информацию о структуре слабого взаимодействия по сравнению с исследованием не радиационного распада мюона и тау – лептона.

Закключение

Вклад соотношения массы электрона к массе мюона имеет важное значение для современных высокоточных экспериментов по мюонному и тау – лептонному распаду, особенно по радиационным распадам.

Распады мюона является одним из самых мощных инструментов, для изучения структуры слабого взаимодействия. Его теоретическая формулировка, параметры Мишеля были исследованы за пределами стандартной модели. Также радиационный распад мюона, в котором появляется наблюдаемый фотон, предсказывается с очень высокой точностью с использованием параметров Мишеля. Это дает возможность извлечь новые комбинации параметров лагранжиана слабых взаимодействий общего вида, например, обобщенный параметр Мишеля $\bar{\eta}$. В данной работе были изучены предсказания стандартной модели для дифференциальных распределений стандартного и радиационного распадов мюона по долям энергии и угловым переменным наблюдаемых конечных частиц. Результаты могут быть использованы при анализе высокоточных экспериментальных данных по радиационным распадам τ -лептона и мюона с целью получения обобщенных параметров Мишеля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Belle Collaboration, A. Abdesselam et al., “Study of Michel parameters in leptonic τ decays at Belle”, [arXiv:1409.4969].
- [2] W. Fetscher, H. J. Gerber and K. F. Johnson, “Muon Decay: Complete Determination of the Interaction and Comparison with the Standard Model”, Phys. Lett. B 173 (1986) 102.
- [3] Particle Data Group Collaboration, K. A. Olive et al., “Review of Particle Physics”, Chin. Phys. C 38 (2014) 090001.
- [4] W. Fetscher, H.J. Gerber, "Muon decay parameters", in K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, Vol.38, 090001 (2014).
- [5] A.B. Arbuzov, E.S. Scherbakova, "One loop corrections to radiative muon decay," Phys. Lett. B, Vol.597, 285 (2004) [hep-ph/0404094].
- [6] A.B. Arbuzov, "First order radiative corrections to polarized muon decay spectrum," Phys. Lett. B, Vol.524, 99 (2002) [hep-ph/0110047].
- [7] M. Fael, L. Mercolli and M. Passera, “Radiative μ and τ leptonic decays at NLO, JHEP” 1507 (2015) 153 [arXiv:1506.03416].

Э.М. Ақжігітова¹, В.О. Құрманғалиева¹, А.Б. Арбузов²

¹Эл- Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан; ²БЯЗИ, Дубна, Ресей

МЮОННЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЫДЫРАУЫН МОДЕЛЬДЕН ТӘУЕЛСІЗ ТҮРДЕ СИПАТТАУ

Аннотация. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты, радиациондық мюонның ыдырауын $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_\mu \gamma$ теоретикалық түрде зерттеу. Бұл процесс көптеген заманауи эксперименттерде зерттелуде, себебі ыдырау есебінен фотонның шығуы әлсіз әсерлесу жайлы қосымша мәліметтер алуға және «жаңа физиканың» көріністерін іздеуге көмектеседі.

Тірек сөздер: мюонның ыдырауы, әлсіз электрлік әсерлесу, стандарттық модель және т.б.

МАЗМҰНЫ

<i>Джумабаев Д.С., Жармагамбетов А.С.</i> Фредгольм интегро-дифференциалдық теңдеуі үшін сызықтық шеттік есепті шешудің сандық әдісі.....	5
<i>Асанова А.Т., Иманчиев А.Е., Қәдірбаева Ж.М.</i> Жүктелген дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін көпнүктелі есептің бірмәнді шешілімділігі туралы	12
<i>Дауылбаев М. К., Джумабаев Д. С., Атахан Н.</i> Сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеуге арналған шекаралық есептің асимптотикалық бейнелеуі.....	18
<i>Асқарова Ә.С., Бөлегенова С.Ә., Бөлегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С.</i> ПК-39 және БКЗ-160 қазандықтарының жану камераларының аэродинамикасы мен жылу масса алмасуын зерттеу.....	27
<i>Абишев М.Е., Токтарбай С., Абылаева А.Ж., Талхат А.З., Белсарова Ф.Б.</i> Екі массивті айналмалы дене өрісіндегі айналмалы сынақ дене орбитасының орнықтылығы.....	39
<i>Ақжігітова Э.М., Құрманғалиева В.О., Арбузов А.Б.</i> Мюонның радиациялық ыдырауын модельден тәуелсіз түрде сипаттау	54
<i>Асқарова Ә.С., Бөлегенова С.Ә., Бөлегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С.</i> ПК-39 қазандығының жану камерасындағы шаң тозанды көмір отынын жағу процесін сандық модельдеу.....	58
<i>Әбішев М., Малыбаев А., Кеведо Э.</i> Мінсіз газдың геометротермодинамикасы.....	64
<i>Шыныбаев М.Д., Беков А.А., Рахимжанов Б.Н., Моминов С.Б., Сәдібек А.Ж., Дауырбеков С.С., Жолдасов С.А.</i> Хилдың екінші есебіндегі ұйытқулы шеңбер типтес орбиталар.....	69
<i>Асқарова А.С., Бөлегенова С.А., Бөлегенова С.А., Максимов В.Ю., Максұтханова А.М., Турбекова А.Г., Бейсенов Х.И.</i> БКЗ-160 жану камерасындағы термохимиялық-газдандырылған көмір жануын зерттеудің есептеу эксперименті.....	75
<i>Салғараева Г.И., Базарбаева А.</i> Білім берудегі Steam жүйесі және робототехника.....	81
<i>Ақылбаев М.И., Пархатова С., Шалданбаев А.Ш.</i> Бірлесіп толыққан операторлар	87
<i>Шыныбаев М.Д., Дауырбеков С.С., Жолдасов С.А., Алиасқаров Д.Р., Мырзақасова Г.Е., Сәдібек А.Ж.</i> Жердің жасанды серігінің сәуле қысымынан алған ұйытқуын Делоне элементтерінде есепке алу.....	99
<i>Қабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Абекова Ж.А., Омашова Г.Ш., Қыдырбекова Ж.Б., Джумағалиева А.И.</i> Соққы құбылысын зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	104
<i>Қожамқұлова Ж.Ж., Аманкелдіқызы Н., Кабаева Д.А.</i> Болашақ мұғалімдерді кәсіби дайындауда қолданылатын ақпараттық технологиялар және олардың даму болашағы.....	110
<i>Қошанов Б.Д., Әділбеков Е.Н., Дүйсен Е.</i> Шектелмеген облыста пуассон және Бигармониалы теңдеулер үшін Дирихле есебі шешімдер кеңістігінің өлшемі – I.....	116
<i>Қошанов Б.Д., Әділбеков Е.Н., Дүйсен Е.</i> Шектелмеген облыста Пуассон және бигармониалы теңдеулер үшін Дирихле есебі шешімдер кеңістігінің өлшемі – II.....	126
<i>Сапрыгина М.Б., Ақылбаев М.И., Шалданбаев А.Ш.</i> Штурм-Лиувилл операторының периодты кері есебі.....	132
<i>Қойшыева Т.Қ., Қожамқұлова Ж.Ж., Сабит Б.</i> Жоғары оқу орнында болашақ мұғалімдерді объектілі-бағдарлы жобалау негізінде кәсіби дайындау моделі.....	146
<i>Исаева Г.Б., Бейсенова А.М.</i> Виртуалды машина және виртуалды машина ерекшеліктері мен виртуалдану деңгейлері жайлы жалпы мәселелер.....	153
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Көлденең ұңғымалардың өнімдік қабатын тиімді ашу үшін биополимерлі бұрғылау ерітіндісін қолдану.....	161
Ғалымды еске алу	
Э.Г. Боос.....	166

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Джумабаев Д.С., Жармагамбетов А.С.</i> Численный метод решения линейной краевой задачи для интегро-дифференциального уравнения Фредгольма.....	5
<i>Асанова А.Т., Иманчиев А.Е., Кадирбаева Ж.М.</i> Об однозначной разрешимости многоточечной задачи для системы нагруженных дифференциальных уравнений	12
<i>Дауылбаев М. К., Джумабаев Д. С., Атахан Н.</i> Асимптотическое представление сингулярно возмущенных краевых задач для интегро-дифференциальных уравнений.....	18
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С.</i> Исследование аэродинамики и теплообмена в топочных камерах котлов ПК-39 и БКЗ-160	27
<i>Абишев М.Е., Токтарбай С., Абылаева А.Ж., Талхат А.З., Белисарова Ф.Б.</i> Устойчивость орбиты вращательного движения пробного тела в поле двух массивных вращающихся тел.....	39
<i>Акжигитова Э.М., Курмангалиева В.О., Арбузов А.Б.</i> Описание радиоационного распада мюона в модельно – независимом подходе	54
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Шортанбаева Ж.К.</i> Численное моделирование процессов сжигания пылеугольного топлива в топочной камере котла ПК 39.....	58
<i>Абишев М., Мальбаев А., Кеведо Э.</i> Геометротермодинамика идеального газа.....	64
<i>Шинибаев М.Д., Беков А.А., Рахимжанов Б.Н., Моминов С.Б., Садыбек А.Ж., Даиырбеков С.С., Жолдасов С.А.</i> Возмущенная орбита кругового типа во второй задаче Хилла.....	69
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Максутханова А.М., Турбекова А.Г., Бейсенов Х.И.</i> Вычислительный эксперимент по исследованию горения термохимически-газифицированного угля в топочной камере котла БКЗ-160.....	75
<i>Салгареева Г.И., Базарбаева А.</i> Система Steam в образовании и робототехника.....	81
<i>Ақылбаев М.И., Пархатова С., Шалданбаев А.Ш.</i> О совместно полных операторах Штурма-Лиувилля.....	87
<i>Шинибаев М.Д., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Алиаскаров Д.А., Мырзакасова Г.Е., Садыбек А.Ж.</i> Возмущения спутника земли от светового давления в элементах Делоне.....	99
<i>Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Абекова Ж.А., Омашова Г.Ш., Кыдырбекова Ж.Б., Джумагалиева А.И.</i> Организация выполнения компьютерной лабораторной работы по исследованию явления биения.....	104
<i>Кожамкулова Ж.Ж., Аманкелдикызы Н., Кабаева Д.А.</i> Информационные технологии, используемые при подготовке будущих педагогов, и их развитие.....	110
<i>Кошанов Б.Д., Адильбеков Е.Н., Дуйсен Е.</i> Размерность пространства решений задачи Дирихле для уравнений Пуассона и бигармонического уравнения в неограниченной области- I.....	116
<i>Кошанов Б.Д., Адильбеков Е.Н., Дуйсен Е.</i> Размерность пространства решений задачи Дирихле для уравнений Пуассона и бигармонического уравнения в неограниченной области- II.....	126
<i>Сапрыгина М.Б.¹, Акылбаев М.И., Шалданбаев А.Ш.</i> Обратная периодическая задача оператора Штурма-Лиувилля.....	132
<i>Койшиева Т.К., Кожамкулова Ж.Ж., Сабит Б.</i> Профессиональная подготовка будущих преподавателей в высших учебных заведениях на основе объектно-ориентированного проектирования	146
<i>Исаева Г.Б., Бейсенова А.М.</i> Виртуальные машины, преимущества виртуальных машин и уровни виртуализации...153	
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Применение биополимерных буровых растворов для эффективного вскрытия продуктивных горизонтов горизонтальных скважин.....	161
Памяти ученого	
Краткий очерк научной и общественной деятельности академика Национальной академии наук Республики Казахстан Э.Г.Бооса.....	166

CONTENTS

<i>Dzhumabaev D.S., Zharmagambetov A.S.</i> Numerical method for solving a linear boundary value problem for fredholm integro-differential equations.....	5
<i>Assanova A.T., Imanchiev A.E., Kadirbayeva Zh.M.</i> On the unique solvability of a multi-point problem for system of the loaded differential equations hyperbolic type	12
<i>Dauylbayev M. K., Dzhumabaev D. S., Atakhan N.</i> Asymptotical representation of singularly perturbed boundary value problems for integro-differential equations	18
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Ospanova Sh.S.</i> Investigation of aerodynamics and heat and mass transfer in the combustion chambers of the boilers PK-39 and BKZ-160.....	27
<i>Abishev M.E., Toktarbay S., Abylayeva A.Zh., Talkhat A.Z., Belissarova F.B.</i> The orbital stability of the motion of a test particle in a field of two massive rotating bodies.....	39
<i>Akzhigitova E.M., Kurmangalieva V.O., Arbuzov A.B.</i> Description of radiative muon decay using model-independent approach.....	54
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Shortanbaeva Zh.K.</i> Numerical modeling of burning pulverized coal in the combustion chamber of the boiler PK 39.....	58
<i>Abishev M., Malybayev A., Quevedo H.</i> Geometrothermodynamics of the ideal gas	64
<i>Shinibaev M.D., Bekov A.A., Rahimganov B.N., Mominov S.B., Sadybek A.G., Dairbekov S.S., Zholdasov S.A.</i> Perturbed orbit of a circular type for the Hill second task	69
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Maxutkhanova A.M., Turbekova A.G., Beisenov Kh.I.</i> A Computational experiment for studying the combustion of thermochemically-gasified coal in the combustion chamber of the boiler BKZ-160.....	75
<i>Salgarayeva G.I., Bazarbayeva A.</i> Steam system in education and robotics.....	81
<i>Akylbayev M. I., Parkhatova S., Shaldanbayev A.Sh.</i> On jointly completeness of Sturm-Liouville operators.....	87
<i>Shinibaev M.D., Dairbekov S.S., Zholdasov S.A., Aliaskarov D.A., Myrzakasova G.E., Sadybek A.G.</i> Perturbations satellites from the light pressure in the delaunay elements.....	99
<i>Kabyrbekov K.A., Ashirbaev H. A., Abekova Zh. A., Omashova G.Sh., Kydyrbekova Zh. B., Dzhumagalieva A.I.</i> The organization of performance of computer laboratory operation on examination of the phenomenon of palpation.....	104
<i>Kozhamkulova Zh.Zh., Amankeldikyzy N., Kabaeva D.A.</i> Information technology used in the preparation of future teachers and their development.....	110
<i>Koshanov B.D., Adilbekov E.N., Duysen E.</i> The dimension of the space solutions of the dirichlet problem for the Poisson and biharmonic equations in unbounded Domains – I.....	116
<i>Koshanov B.D., Adilbekov E.N., Duysen E.</i> The dimension of the space solutions of the Dirichlet problem for the Poisson and biharmonic equations in unbounded domains – II.....	126
<i>Saprigina M.B., Akylbayev M. I., Shaldanbayev A.Sh.</i> The inverse periodic problem of the Sturm-Liouville operator.....	132
<i>Koyschieva T.K., Kozhamkulova Zh.Zh., Sabit B.</i> Training in higher education for future teachers on the basis of object-oriented design.....	146
<i>Issayeva G.B., Beisenova A.M.</i> The virtual machines, advantages of the virtual machines and virtualization levels.....	153
<i>Sarsenbayev Kh.A., Khamzina B.S., Koldassova G.A., Issayeva G.B.</i> Application of biopolymer drilling fluid for effective opening productive horizons horizontal wells.....	161
The memory of the scientist	
E. G. Boos	166

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы *М. С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 10.04.2017.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11,4 п.л. Тираж 300. Заказ 2.

Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19