

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ЛАВРЕНОВ Александр Николаевич

**МЮОННАЯ ВНУТРЕННЯЯ КОНВЕРСИЯ
ПРИ МОНОПОЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЯДРА**

01.04.02. — теоретическая физика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Минск — 1983

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте прикладных физических проблем имени А.Н.Савченко Белорусского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Л.А. БОРИСОГЛЕБСКИЙ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
А.Ф. ГРАБОВИЧ

кандидат физико-математических наук, доцент
В.В. КОЛЕТЕЦКАЯ

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт ядерных проблем, г.Минск

Защита состоится "___" июня 1993 г. в 10 часов на заседании специализированного Совета К 056.03.09 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени государственном университете по адресу: 220050, г.Минск, пр. Ф. Скорины, 4, главный корпус, комн. 206.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белгосударственного университета.

Автореферат разослан "___" мая 1993 г.

Ученый секретарь



А.В. Костин

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Изучение процессов внутренней конверсии позволяет эффективно определять квантовые характеристики атомных ядер, уточнять структуру ядра и эмпирические соотношения. Теория электронной внутренней конверсии довольно хорошо разработана, проведен учет влияния различных эффектов на вероятность процесса. Для изучения свойств экзотических атомов, в которых электроны заменены другой частицей с отрицательным электрическим зарядом, созданы молекулы фобриды. На них процесс внутренней конверсии и монопольных атомов наблюдается для: а) в резонансе монопольного катализа синтеза ядер, и б) в опытах по миграционному делению ядер тяжелого мезотона. Теоретически основы как электронной, так и монопольной внутренней конверсии одинаковы. Но методики расчета характеристик процесса в этих случаях существенно различаются. Это связано с тем, что грани применимости приближений, принятых для электронных атомов, в случае монопольных атомов. В настоящее время для процессов монопольной внутренней конверсии учет этих различий проведен наиболее полно для переходов ядра с мультипольностью $L \neq 0$. Актуальна проблема кванта монопольной внутренней конверсии при монопольных переходах.

Цель работы является разработка нового метода расчета абсолютной вероятности EC -конверсии и применение его к монопольным атомам.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- определены приближения для исходных формул абсолютной вероятности EC -конверсии $W(EC)$ и границы, в которых они действуют; проведено сравнение случаев электронной и монопольной EC -конверсии,

- обоснована необходимость дальнейшей разработки теории EC -конверсии и предложен новый метод расчета абсолютной вероятности EC -конверсии $W(EC)$ на основе микро- и мезоскопических моделей ядерного перехода,

- выполнены численные расчеты абсолютной вероятности мезонной ρ -конверсии $W_{\mu}(E)$ в явном виде в зависимости параметров ядра.

- дана оценка влияния на $W_{\mu}(E)$ следующих эффектов: неустойчивости потенциала взаимодействия между мезоном и ядром, деформации ядра, электромагнитного взаимодействия и изотопического эффекта.

Научная новизна и практическая ценность диссертации. В работе в явном виде получены ограничения на поведение радиальной части тона ядерного монополяного перехода в нуле и на бесконечности, накладываемые калибровочной инвариантностью. На основе этой инвариантности выведены различные формулы для расчета абсолютной вероятности процесса ρ -конверсии $W(E)$, более удобные для численных оценок, чем традиционная. Основан вклад нескольких ядерных параметров в матричный элемент взаимодействия для ρ -перехода в мезонных атомах, что позволило выявить ограниченность предложенного в литературе метода расчета $W(E)$ и разработать новую методику. Она использована для расчета вероятности процесса на K -оболочке мезонного атома $W_{\mu}(E)$ по всей таблице Менделеева при энергиях перехода $k = 0,5 - 40$ МэВ. Определена область формирования абсолютной вероятности электронной и мезонной ρ -конверсии. Рассмотрено влияние ряда эффектов, которые изменяют значение $W_{\mu}(E)$. Разработанная автором методика и типичные расчеты могут быть использованы при анализе экспериментальных данных и теоретическом изучении процессов, происходящих в мезонных атомах.

Основные положения, внесенные на защиту:

1. Получены ограничения на поведение радиальной части тона ядерного монополяного перехода в нуле и на бесконечности, накладываемые калибровочной инвариантностью. На основе этой инвариантности получены различные эквивалентные формулы для абсолютной вероятности процесса ρ -конверсии $W(E)$.

2. Определено число ядерных параметров. Достигнута для большинства точности расчетов, сравнимой с точностью эксперимента; тем самым выявлены пределы применимости однопараметрического приближения.

3. Предложены макро- и микроскопическая модели расчета вероятностей ВКК $W(20)$ по всей таблице Менделеева. Для ядра $W(20)$ в моных атомах, что позволяет провести сравнение с другими, происходящими в них, процессами.

4. Показано, что недостаточность потенциала взаимодействия между нейтроном и ядром, деформация ядра, предэкстремитальное подмощивание и неадиабатический эффект слабо влияют на абсолютную вероятность испускания EO -квантов $W_d(10)$.

Обсуждение результатов. Основные результаты работы обсуждались на [Всероссийском совещании по ядерно-спектроскопическим исследованиям СВЯТОСЛАВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (Москва, 1985), 36-40 Всесоюзных и 41-42 Международных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Харков, 1986; Брннл, 1987; Копу, 1988; Ташкент, 1989; Ленинград, 1990; Минск, 1991; Дамп Ата, 1992), Международном семинаре по физике промежуточных энергий (Москва, 1989), 9 Республиканской конференции молодых ученых по спектроскопии и квантовой электродинамике (Вильнюс, 1989).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, приложения, четырех приложений и списка литературы, содержит 138 страниц машинописного текста, II таблиц, 10 рисунков. Список цитируемой литературы включает 138 наименований.

Содержание диссертации

Во введении обосновывается актуальность темы работы, определяется цель и задачи проводимых исследований, формулируются основные выводы и положения диссертации, выносятся на защиту.

Первая глава посвящена общим вопросам теории $\beta\beta$ -конверсии. Для ясности дальнейшего изложения в §1 дается небольшой исторический обзор по теории электронной $\beta\beta$ -конверсии. Несколько моделей ядра описаны в §2, а особенности построения волновой функции лептона в центрально-симметричном поле ядра рассмотрены в §3. Изданы конкретные модели ядра и распределение зарядов в ядре определяется удобствам при численных расчетах. С §4 начинается изложение основного материала по работам автора. В нем рассматривается вопрос о роли калибровочных преобразований в теории $\beta\beta$ -конверсии согласно статье автора [6]. Показана калибровочная инвариантность абсолютной вероятности $\beta\beta$ -конверсии $W(\beta\beta)$ и получены ограничения, вытекающие ее из поведения радиальной части тока ядерного мезонного перехода в нуле и на бесконечности. Они имеют вид:

$$\lim_{R \rightarrow 0} J_{00}^I(R) + R^2 = 0, \quad \lim_{R \rightarrow \infty} J_{00}^I(R) - R = 0. \quad (1)$$

Здесь и в дальнейшем радиальные части соответственно зарядов $\rho_{LM}^N(R)$ и тока $J_{LM}^N(R)$ вводятся в рассмотрение при помощи соотношений, принятых ниже:

$$\exp_{LM}(R) = i \rho_{LM}^N \cdot Y_{LM}(\theta, \phi),$$

$$J_{LM}^N(R) = i \rho_{LM}^N \cdot \vec{Y}_{LM}^N(\theta, \phi),$$

где e - заряд протона, i - мнимая единица, Y_{LM} и \vec{Y}_{LM}^N - скалярная и векторная сферические функции, $J_{LM}^N(R) = (J_{LM}^N, J_{00}^N)$ - ядерный ток перехода, $J_{LM}^N = J_{LM}^N + i J_{00}^N$.

С использованием калибровочных преобразований получены новые различные эквивалентные выражения для абсолютной вероятности $\beta\beta$ -конверсии $W(\beta\beta)$, которая более удобна для численных расчетов по сравнению с традиционной (3а):

$$W(\beta\beta) = 9 \cdot (2 + \pi)^2 \cdot (2 + \pi) \cdot |M^*(\beta\beta)|^2 \quad (2)$$

$$\text{где } W'(E0) = \int_0^{\infty} J_{00}^1(r) \cdot (C_1 \cdot P_T - C_2 \cdot P_1) \cdot L / R^2, \quad (2a)$$

$$W'(E0) = \int_0^{\infty} J_{00}^1(R) \cdot \int_0^R (P_T + P_T + C_1 + C_2) \cdot L / R, \quad (2b)$$

$$W'(E0) = \int_0^{\infty} \rho_{00}(R) \cdot R^2 \cdot \int_0^R (P_T + P_T + C_1 + C_2) \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right), \quad (2c)$$

Здесь P и C - большая и малая компоненты радиальной волновой функции Лейтона, α - постоянная тонкой структуры, k - релятивистское главное квантовое число. В первом случае необходимо опустить множитель $Z \cdot |z|$ в (2), так как в микрополе на оболочке присутствует один мюон, а не $Z \cdot |z|$ электронов.

Во второй главе сначала рассмотрены конкретные вопросы, возникающие при вычислении абсолютной вероятности $E0$ -конверсии $W(E0)$ в электронных и мюонных атомах, а затем - условия, при которых мюонная $E0$ -конверсия наиболее вероятна. В §5 получены исходные формулы для расчета $W(E0)$ на основе микро- и макроскопической моделей ядерного монополярного перехода согласно работам автора [4, 13-15]. Радиальная зависимость ядерного тока перехода $J(R)$ задается в моделях поверхностных токов перехода (сокращенно - ПТ), равномерно распределенных по объему ядра токов перехода (сокращенно - ОТ), и модели Тасси:

а) модель ПТ

$$J_{00}^1(R) = D_{ПТ} \cdot \theta(R - R_0), \quad (4a)$$

б) модель ОТ

$$J_{00}^1(R) = D_{ОТ} \cdot \theta(R_0 - R), \quad (4b)$$

в) модель Тасси

$$J_{00}^1(R) = C \cdot R + \rho_{ch}(R), \quad (4c)$$

где $\theta(x)$ - θ -функция Дирака; C , $D_{ПТ,ОТ}$ - константы, $\theta(x)$ - ступенчатая функция; $\rho_{ch}(r)$ - плотности распределения заряда в основном состоянии, нормированная следующим образом:

$$4\pi\epsilon_0 \int_0^{\infty} r^2 \rho_{ch}(r) dr = Z.$$

В результате несложных преобразований после подстановки формул (41, 42, 43) в (38, 39) получим:

а) модель ПТ

$$W'(EO) = \frac{-N_{1T}^*}{2 + kR_0^2} (G_T + P_T - G_T + P_T) \int_{r=R_0}^{\infty} \frac{N_{1T}^*}{2 + R_0^2} \frac{R_0}{r} dr (P_T + G_T + G_T + P_T). \quad (5a)$$

б) модель ГФ

$$W'(EO) = \frac{-2N_{1T}^*}{kR_0^4} \frac{R_0}{0} \int_0^{R_0} (G_1 + P_T - G_T + P_T) dr$$

$$+ \frac{2N_{1T}^*}{R_0^4} \frac{R_0}{0} \int_0^{R_0} (P_1 + P_T + G_1 + G_T) (R_0 - r) dr.$$

в) модель Тосси

$$W'(EO) = \frac{-4\pi\epsilon_0 N_{1T}^*}{2 + \langle R^2 \rangle_{ch}} \frac{1}{k} \int_0^{\infty} \rho_{ch}(R) dR (G_1 + P_T - G_T + P_T) \quad (5b)$$

$$+ \frac{4\pi\epsilon_0 N_{1T}^*}{2 + \langle R^2 \rangle_{ch}} \frac{1}{k} \int_0^{\infty} \rho_{ch}(R) dR (G_1 + G_T + P_T + P_T).$$

где R_0 - электромагнитный эквивалентный радиус ядра, равный $1.2 \cdot 10^{-15} A^{1/3}$ м; N_{1T}^* - константа; $\langle R^2 \rangle_{ch}$ - среднеквадратический радиус ядра. Проинтегрированы компоненты напряжения $W'(EO)$ для модели Тосси в зависимости от выбора конкретного распределения зарядов в ядре: полярностного, объемного, фермиевского и симметризованного фермиевского. В частности, для расчета $W'(EO)$ в модели ПТ и Тосси при полярностном распределении зарядов в ядре нами однократно выданы несколько формул. Для фиксирования

феноменологические параметров C , D в данных микроскопических моделях ядра использовались условия нормировки в следующем виде:

$$N_{1r} = \int_0^{\infty} \rho_{CO}(R) \cdot R^d = \frac{-2\pi^2}{k} \int_0^{\infty} J_{CO}^1(R) \cdot R^3. \quad (6)$$

Микроскопические описание EO -конверсии дано в рамках адiabатического, зависящего от времени, метода Хартри-Фока. В нем величина ρ_{CO} выражается формулой:

$$\rho_{CO}(R) = A \cdot \frac{d}{dR} \rho_{ch}(R) + B \cdot \frac{d}{dR} \rho_{ch}(R). \quad (7)$$

Входящая в (7) плотность ядерного перехода в основном состоянии $\rho_{ch}(R)$ выбирается в виде дуппараметрической, так называемой симметризованной формы-плотности. Коэффициенты A и B , а также радиусовые значения радиуса положительной плотности c и дифференци α однозначно фиксируются параметрами эффективного NN -взаимодействия. В данном случае из-за громоздкости исходной формулы для расчета $W(EO)$ она приводится в явном виде в Приложении В. Для всех упомянутых моделей ядерного перехода рассмотрен вклад ядерной области B в значение абсолютной вероятности EO -конверсии $W(EO)$.

Связь полученных формул с ранее описанным в литературе подходом, основанном на разложении $W(EO)$ в ряд по ядерным параметрам, устанавливается в §6 согласно работам автора [3,7]. Данный подход сводится к тому, что в формулах (5а,б,в) $M^*(EO)$ представляется в таком виде, где F и G разложены в ряд Тейлора в точке $r=0$. Необходимость учета нескольких ядерных параметров в $W(EO)$ для мюонной EO -конверсии на K -оболочке в отличие от электронной EO -конверсии доказывается в §6. Тем; для потребности до 10% в мюонной EO -конверсии необходим учет в лучшем случае четырех ядерных параметров в $M^*(EO)$ для тяжелых ядер.

В §7 исследуется область формирования абсолютной вероятности мюонной $W_{\mu}(EO)$ и электронной $W_e(EO)$ EO -конверсии на K -оболочке согласно работам автора [3,6]. Получено, что в обоих случаях она

определяется областью $(0.5 \cdot R_0, R_0)$. Из-за различия значений R_0 в соответствующих системах единиц данная область во-разному расположена относительно максимума большой компоненты волновой функции лептона дискретного спектра γ_1 в случае электронной и мюонной Е0-конверсии. Если в случае электронной Е0 конверсии R_0 мало и соответственно область формирования $W_0(E0)$ расположена в центральной части ядра, то в случае мюонной Е0-конверсии $R_0 \approx 3$ нм (или релятивистским длинами) и область формирования $W_0(E0)$ при этом смещается к области минимума γ_1 . В свою очередь, это приводит к заметной зависимости вида различных областей атома в $W_0(E0)$ как от атомного номера Z , так и от распределения зарядов ядра в случае мюонной Е0-конверсии на К-оболочке по сравнению со случаем электронной Е0-конверсии. В обоих случаях область формирования $W(E0)$ очень чувствительна к выбору ядерной модели. В используемых ядерных моделях радиус области формирования совпадает с радиусом ядра.

Полученные в §§ 8 и §9 численные значения абсолютной вероятности мюонной Е0-конверсии $W_\mu(E0)$ для широкого диапазона изменения характеристик процесса проинтегрированы в микро- и макроскопических моделях ядерного перехода. Сравнение между ними и имеющиеся теоретическими и экспериментальными оценками вероятности процесса других авторов показывает удовлетворительное согласие результатов. Данный материал излагается с работам автора /13-15/.

В третьей главе рассматриваются некоторые процессы и эффекты, которые могут повлиять на абсолютное значение $W_\mu(E0)$. В §10 обсуждаются некоторые аспекты в расчетных формулах, возникающие при отказе от статичности потенциала взаимодействия между лептоном и ядром $V(r)$, т.е. при $V_1(r) \neq V_2(r)$, согласно работам автора /6-10/. Явный вид появляющегося в этом случае дополнительного слагаемого в матричном элементе процесса дан ниже:

$$D_1 = \int_0^{\infty} dr (V_1 - V_2) \cdot (F_1 \cdot F_2 + G_1 \cdot G_2) = (\hbar \gamma_1 / \kappa r) \cdot$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^R J_{00}^1(R) \cdot R^2 + J_1(k \cdot R) + J_0(k \cdot R) + \int_0^R J_{00}^1(R) \cdot R^2 \cdot h_1(k \cdot R) \cdot \\
& - \frac{1}{k^2} \int_0^R J_{00}^1(R) \cdot \int_0^R (F_1 + F_2 + G_1 + G_2) + (V_1 - V_2) \cdot \\
\end{aligned}$$

где $J_L(x)$ и $h_L(x)$ - функции Бесселя и Ханкеля I рода. Спуская это и учитывая лишь изменение волновой функции мюона в конечном состоянии. Получено, что сдвиг указанного относительного изменения $\mathbb{W}_\mu(E_0)$ в среднем 10%. Выведена математическая формула и линейный в лептонном факторе при втором ядерном параметре в случае отката от статистичности $V(\gamma)$.

Однадцатый параграф посвящен анализу зависимости $\mathbb{W}_\mu(E_0)$ от деформации ядра согласно работам автора [11,12]. Рассмотрено три различных варианта учета деформации ядра и ее влияния на $\mathbb{W}(E_0)$ через основное состояние конверсионного лептона. Согласно полученным результатам указанное влияние мало порядка нескольких процентов.

Возможность различных типов неэлектромагнитного взаимодействия между мюоном и ядром рассматривается в §12 в свете современных теорий поля согласно работам автора [1-3]. Там же оцениваются поправки к $\mathbb{W}_\mu(E_0)$ от обмена скалярным бозоном массой m_μ между мюоном и ядром при монопольном переходе ядра; рассматривается возможная роль слабого взаимодействия в мюонной E_0 -конверсии. Результаты оценок неэлектромагнитных взаимодействий показывают, что они вносят в значение абсолютной вероятности мюонной E_0 -конверсии малый вклад. При обмене скалярным бозоном он может достигать максимум 10%, а при учете слабых нейтральных токов менее 1%.

Влияние изотопического эффекта в мюонной E_0 -конверсии рассмотрено в §13 согласно работам автора [8,10,13-15]. Вычисления $\mathbb{W}_\mu(E_0)$ проводились для изотопов с крайними значениями атомного веса в одном случае, а в другом - со значениями 1 трех наиболее распространенных химических элементов. Получено, что величина изотопического эффекта может достигать в среднем 10%.

В библиографии перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

В приложениях А-Г приведены в явном виде причинные функции Грина; величины $V(r)$ и $\langle R^p \rangle_{\text{ср}}$ для фермиевского и симметризованного фермиевского распределений зарядов в ядре; матричный элемент ЕО-конверсии и моменты радиуса перехода $\langle R^p \rangle_{\text{ср}}$ в рамках адиабатического, зависящего от времени, метода Хартри-Фока.

Основные результаты работы:

1. Найденны ограничения на падение радиальной части тока адиабатического массового перехода, накладываемые калибровочной инвариантностью.
2. С помощью калибровочных преобразований получены различные выражения для абсолютной вероятности ЕО-конверсии.
3. Выведены формулы для расчета абсолютной вероятности ЕО-инверсии в микроскопических моделях ядерного перехода Тасси, поверхностный и объемный токи.
4. Получены формулы для расчета абсолютной вероятности ЕО-инверсии в микроскопической модели ядерного перехода в рамках адиабатического, зависящего от времени, метода Хартри-Фока.
5. Определены погрешности вычисления вероятности массовой ЕО-конверсии на К-оболочке атома в n -параметрическом приближении ($n=1-4$ - число ядерных параметров).
6. Определено влияние формирования абсолютной вероятности электронной и массовой ЕО-конверсии на К-оболочке атома.
7. Даны численные оценки абсолютной вероятности массовой ЕО-конверсии в широком диапазоне изменяемых характеристик процесса для упомянутых выше моделей ядерного перехода.
8. Исследована роль в массовой ЕО-конверсии нестатичности потенциала взаимодействия между мезоном и ядром, деформации ядра, неадиабатического взаимодействия и изотопического эффекта.

Основные результаты автора опубликованы в следующих работах:

1. Давренков А.Н., Шуляковский Г.С. Электромагнитное взаимодействие в мюонной EO -конверсии // Вестник Белорусского ун-та, сер. I. - 1966. - №2. - с.22-26.
2. Давренков А.Н., Шуляковский Г.С. Слабым нейтральным токам в мюонной EO -конверсии // Вопросы атомной науки и техники, сер. общия и ядерная физика. - 1966. - с.31-32.
3. Давренков А.Н., Шуляковский Г.С. О роли некоторых эффектов в мюонной EO -конверсии // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. 38 Совещ. 15-19 апреля 1966 г. Харьков. - Л., 1966. - с.263.
4. Давренков А.Н. Электромагнитные преобразования в EO -конверсии // Вестник Белорусского ун-та, сер. I. - 1967. - №3. - с.3-6.
5. Давренков А.Н. О ядерных параметрах в мюонной EO -конверсии // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. 37 Совещ. 14-17 апреля 1967 г. Брест. - Л., 1967. - с.258.
6. Давренков А.Н. Область формирования мюонной EO -конверсии на K -оболочке // Украинский физический журнал. - 1969. - т.34. - №4. - с.516-518.
7. Давренков А.Н. К теории мюонной EO -конверсии // Украинский физический журнал. - 1969. - т.34. - №5. - с.647-649.
8. Давренков А.Н. К расчету абсолютной вероятности EO -конверсии // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. 39 Совещ. 18-21 апреля 1969 г. Ташкент. - Л., 1969. - с.202.
9. Давренков А.Н. EO -конверсия на K -оболочке мезоатомов // Исследования в области спектроскопии и квантовой электроники: Тез. докл. 9 Республиканской конф. молодых ученых. 23-25 мая 1969 г. Паланга. - Вильнюс, 1969. - с.15.
10. Давренков А.Н. К расчету абсолютной вероятности EO -конверсии // Изв. АН СССР, сер. физ. - 1969. - т.54. - №1. - с.40-41.

11. Лавранов А.Н. Влияние деформации ядра на абсолютную вероятность $\beta\beta$ -распада // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. 40 Совещ. 10-13 апреля 1990 г. Ленинград.- Л., 1990.- с.243.
12. Лавранов А.Н. Влияние деформации ядра на абсолютную вероятность $\beta\beta$ -распада // Изв. АН СССР, сер. физ. - 1991.- т.55.- №.- с.1003-1004.
13. Лавранов А.Н. Микроскопический подход в $\beta\beta$ -распадах // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. 41 Междунар. Совещ. 16-19 апреля 1991 г. Минск.- Л., 1991.- с.214.
14. Лавранов А.Н. Микроскопическое описание $\beta\beta$ -распада // Изв. Российской АН, сер. физ.- 1992.- т.56.- №.- с.165-167.
15. Лавранов А.Н. Зависимость вероятности $\beta\beta$ -распада от ядерных моделей // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. Междунар. Совещ. 21-24 апреля 1992 г. Алма-Ата.- Санкт-Петербург, 1992.- с.197.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ