



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P2-85-907

А.С.Пак*, А.В.Тарасов

**ВЛИЯНИЕ НЕУПРУГОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ
НА ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОХОЖДЕНИЯ
УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКИХ ПОЗИТРОНИЕВ
ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО**

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт физики высоких энергий АН КазССР

1985

С созданием пучков релятивистских позитрониев появилась возможность экспериментального изучения интересного квантовомеханического эффекта, названного сверхпроницаемостью. Автором работы ^{/1/} было обращено внимание на тот факт, что вероятность прохождения ультрарелятивистских атомов позитрония через вещество может заметным образом превышать значение, следующее из экспоненциального закона, если выполняется условие

$$\gamma \tau \gg T, \quad (1)$$

где τ - внутреннее время позитрония, γ - его гаммафактор, T - время прохождения через вещество. В работе ^{/2/} проведен детальный анализ этого явления и отмечена аналогия с ситуацией, имеющей место в процессах взаимодействия адронов высоких энергий с ядрами, где наблюдается так называемая повышенная прозрачность ядерной материи. Оба названных явления имеют одну физическую природу и связаны с эффектами неупругого экранирования, на необходимость учета которых при описании адрон-ядерных взаимодействий указывалось давно ^{/3/}. По вполне понятным причинам в настоящее время нет теоретических методов точного количественного учета неупругих экранировок в адрон-ядерных взаимодействиях. Все попытки подобного рода носят феноменологический, модельный характер ^{/4-7/}. В этом смысле изучение процессов взаимодействия с веществом элементарных релятивистских атомов, в частности позитрониев, представляет особый интерес, так как имеет место случай реализации модели взаимодействия составных систем, к описанию которой можно применить хорошо разработанный аппарат электродинамики и тем самым провести детальный количественный анализ.

В работе ^{/2/} для вероятности прохождения релятивистского позитрония через вещество в рамках эйконального подхода получена формула

$$W_n = \int e^{-N \kappa(\vec{s}, \vec{s}')} \varphi^*(\vec{s}, \vec{z}) \varphi(\vec{s}', \vec{z}') d\vec{s} d\vec{z} d\vec{s}' d\vec{z}', \quad (2)$$

где $\kappa(\vec{s}, \vec{s}') = \int [1 - \langle \exp i(\chi - \chi') \rangle_A] d\vec{b}$, $\chi = \chi_- - \chi_+$ - фаза рассеяния позитрония на атоме, $\chi' = \chi(\vec{b} - \frac{\vec{z}}{2}, \{f\}) - \chi(\vec{b} + \frac{\vec{z}}{2}, \{f\})$; \vec{b} - поперечная координата атома в образце, $\vec{z}, \vec{z}'/2$ - проекции радиусов-векторов электрона и позитрона в позитронии на плоскость, ортогональную импульсу падающего пучка, $\{f\}$ - совокупность координат электронов и ядра в атоме-мишени, N - плотность атомов в единице объема образца,

e - толщина мишени. Знак $\langle \rangle_A$ означает усреднение по состоянию атома, $\varphi(\bar{s}, z)$ - волновая функция основного состояния позитрония. Если бы позитроний в промежутках между актами последовательных столкновений на атомах оставался всегда в основном состоянии (упругое экранирование), то с учетом того, что $\sigma^{tot} = \int K(\bar{s}, \bar{s}') \varphi_A^2(\bar{s}, z)$.

$\varphi_A^2(\bar{s}, z) d\bar{s} d\bar{s}' dz dz'$ для вероятности W_{in} имел бы место простой экспоненциальный закон $W_{in} = \exp(-\sigma^{tot} Ne)$. Однако в действительности помимо упругого имеет место и неупругое экранирование, связанное с переходами позитрония из основного состояния в возбужденные и обратно, что и учитывается формулой (2). Отметим, что формула (2) получена в пренебрежении продольной передачей импульса позитрония, что равносильно условию (1). Формула (2) была проанализирована в работе в двух предельных случаях: малых ($\sigma^{tot} Ne \ll 1$) и больших ($\sigma^{tot} Ne \gg 1$) толщин и было показано, что всегда $W_{in} > e^{-\sigma^{tot} Ne}$, причем с ростом e имеет место асимптотический закон $W_{in} \sim \frac{1}{e}$. В настоящей работе приведены результаты численных расчетов величины W_{in} .

Разложим в выражении для величины $K(\bar{s}, \bar{s}')$ в ряд экспоненту. Вклад от членов, линейных по X , равен нулю. Ограничившись членами, квадратичными по X , получим

$$K(\bar{s}, \bar{s}') = \frac{1}{2} \int \langle |X - X'|^2 \rangle_A d\bar{b}. \quad (3)$$

Учитывая, что $X = X_- - X_+$ и $X_{\pm} = \frac{1}{2\pi i k} \int \frac{2\alpha}{q^2} e^{i\bar{q}(\bar{b} \pm \frac{z}{2} - \bar{s})} d\bar{q}$, где α - постоянная тонкой структуры и \bar{q} - поперечная передача импульса, нетрудно получить, например, для $\int \langle X^2 \rangle_A d\bar{b}$

$$\int \langle X^2 \rangle_A d\bar{b} = \phi(s) = \int dq^2 \left(\frac{d\bar{b}}{dq^2} \right) [1 - J_0(qs)], \quad \text{где} \quad (4)$$

$$\left(\frac{d\bar{b}}{dq^2} \right)_A = \left(\frac{2\alpha}{q^2} \right)^2 \left\{ Z^2 [1 - F(q)]^2 + Z [1 - F^2(q)] \right\} -$$

дифференциальное сечение рассеяния электрона (или позитрона) на атоме,

$F(q)$ - атомный формфактор, Z - заряд ядра атома. Аналогично для X'^2 и $2XX'$ имеем $\int \langle X'^2 \rangle_A d\bar{b} = \phi(s')$, $2 \int \langle XX' \rangle_A d\bar{b} = 2\phi(\frac{\bar{s} + \bar{s}'}{2}) - 2\phi(\frac{\bar{s} - \bar{s}'}{2})$.

Таким образом,

$$W_{in} = \int e^{-Ne[\phi(s) + \phi(s') + 2\phi(\frac{\bar{s} + \bar{s}'}{2}) - 2\phi(\frac{\bar{s} - \bar{s}'}{2})]} \varphi_A^2(\bar{s}, z) \varphi_A^2(\bar{s}', z') d\bar{s} d\bar{s}' dz dz' d\beta, \quad (5)$$

где β - угол между векторами \bar{s} и \bar{s}' . При наличии экспериментальной информации об атомных формфакторах $F(q)$ расчеты были бы, по существу, безмодельными. В настоящей работе численные расчеты проводятся с формфакторами в параметризации Томаса-Ферми-Мольер:

$$F(q) = \frac{0,35}{q^2 + \beta_1^2} + \frac{0,55}{q^2 + \beta_2^2} + \frac{0,1}{q^2 + \beta_3^2}. \quad (6)$$

При этом интегрирование по q^2 в (4) выполняется аналитически. В таблице приведены результаты численных расчетов величины $R = W_{in} / \exp(-\alpha)$, где $\alpha = e/\lambda$, $\lambda = 1/\sigma^{tot}$ для углеродной мишени в зависимости от ее толщины e .

Таблица

X	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
R	1,08	1,12	1,3	1,56	1,95	2,51	3,33	4,52	6,27
R	(1,02)	(1,09)	(1,21)	(1,41)	(1,7)	(2,12)	(2,72)	(3,60)	(4,87)

Из таблицы видно, что отклонение W_{in} от экспоненциального закона велико и $W_{in} \sim X^{-\delta}$, где δ , в свою очередь, зависит от X. Так, в интервале $3 \leq X \leq 10$ $\delta \sim 1,5$ и с увеличением X очень медленно убывает. В скобках для сравнения приведены результаты расчетов в случае, когда в величинах $(d\bar{b}/dq^2)_A$ и σ^{tot} взяты только когерентные части сечений. Видно, что учет некогерентной части сечений увеличивает эффект. Это объясняется тем, что учет некогерентной части увеличивает отношение сечения дифракции под нулевым углом к сечению упругого рассеяния под нулевым углом, что, в свою очередь, и ведет к увеличению эффектов неупругого экранирования $1/4$.

Результаты проведенных численных расчетов могут быть использованы для выбора оптимальных условий эксперимента.

Авторы благодарят Л.И.Липидуса, Л.Л.Неменова и М.И.Подгоречкого за обсуждения.

Литература:

1. Неменов Л.Л. Препринт ОИЯИ, P2-81-263, Дубна, 1981, ЯФ, 1981, 34, с.1306.
2. Любошиц В.Л., Подгоречко М.И. ЖЭТФ, 81, 1981, 1056.
3. Грибов В.Н. ЖЭТФ, 56, 1969, 892.
4. Карманов В.А., Кондратюк Л.А. Письма в ЖЭТФ, 18, 1973, 266.
5. Копелиович Б.З., Липидус Л.И., Замолотчиков А.Б., Мужин С.В. ЖЭТФ, 77, 1979, 45.
6. Копелиович Б.З., Липидус Л.И. Письма в ЖЭТФ, 28, 1978, 664.
7. Замолотчиков А.Б., Копелиович Б.З., Липидус Л.И. Письма в ЖЭТФ, 33, 1981, 612.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 декабря 1985 года.

* В работе ^{1/1} приведены оценки величины эффекта, качественно совпадающие с приведенными в таблице.

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Пак А.С., Тарасов А.В.

P2-85-907

Влияние неупругого экранирования на вероятность прохождения ультрарелятивистских позитрониев через вещество

Работа посвящена проведению численных расчетов вероятности прохождения релятивистских атомов позитрония через вещество с целью выявления эффектов неупругого экранирования. Расчеты проводились в рамках эйконольного подхода. Показано, что учет эффектов неупругого экранирования приводит к существенному (в несколько раз) отклонению соответствующей вероятности от простого экспоненциального закона, имеющего место при учете только упругих экранировок. Приведенные в работе численные результаты могут быть использованы при планировании соответствующих экспериментов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Pak A.S., Tarasov A.V.

P2-85-907

Inelastic Screening Influence on the Probability of Passing Ultrarelativistic Positronia through Matter

Numerical calculations of probability of passing of relativistic positronia through the matter with the aim of clarifying of effects of inelastic screening have been performed. Calculations have been performed in the frameworks of eikonol approach. It is shown that the account of inelastic screening leads to considerable (several times) deviation of the corresponding probability from the simple exponential law which corresponds to the account of only elastic screenings. Numerical results presented can be used when planning experiments with relativistic positronia.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985