

972



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

*Лаборатория ядерных проблем*

---

Л.Б. Егоров, А.Е. Игнатенко, А.В. Купцов, М.Г. Петрашку

P-972

**ПОИСКИ АНОМАЛИЙ  
ПРИ РАСПАДЕ  $\mu^-$ -МЕЗОНОВ  
В ПАРАМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛАХ**

Дубна 1982 год

Л.Б.Егоров, А.Е.Игнатенко, А.В.Купцов, М.Г.Петрашку

P-972

ПОИСКИ АНОМАЛИЙ  
ПРИ РАСПАДЕ  $\mu^-$ -МЕЗОНОВ  
В ПАРАМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛАХ

Направлено в ЖЭТФ

Дубна 1982 год

### А н н о т а ц и я

Методом сцинтилляционных счетчиков измерены относительные выходы электронов от распада  $\mu^-$ -мезонов в мезоатомах переходных металлов палладия, титана и их гидридов. Результаты измерений прямо указывают на отсутствие эффектов, обусловленных неспаренными электронами и дающих наблюдаемые в работах /1-4,8/ увеличения в мезоатомах переходных металлов группы железа вероятностей распада  $\mu^-$ -мезонов и смещение уровней рентгеновского излучения, испускаемого при переходах  $2p - 1s$  .

### Abstract

Relative electron yields from  $\mu^-$  mesons in the mesic atoms of **Pd**, **Ti** and their hydrides have been measured with the scintillation counters. The results of the measurements indicate the absence of the effects due to uncoupled electrons of the atoms which lead to an increase in the  $\mu$  meson decay probability in the mesic atoms of the transition metals of the **Fe** group, as well as to the displacement of the levels of the **x**-rays emitted in  $2p - 1s$  - transitions.

## В в е д е н и е

Абсолютные измерения вероятности распада  $\mu^-$ -мезонов в различных мезоатомах<sup>/1-4/</sup> указывают на существование аномалии в переходных металлах группы железа. Теоретическое рассмотрение этих вопросов<sup>/5-7/</sup> показывает, что при учете всех возможных тривиальных эффектов не удается объяснить ненаблюдаемую аномалию. Одной из удивительных особенностей аномалии является то, что зависимость от атомного номера  $Z$  разности между наблюдаемой и рассчитанной вероятностью распада качественно совпадает с зависимостью от  $Z$  атомного магнитного момента. Также не совпадают с рассчитанными и измеренные энергии рентгеновского излучения, испущенного при  $2p - 1s$  переходах в мезоатомах этих металлов<sup>/8/</sup>. Эти обстоятельства наводят на мысль произвести непосредственные поиски нетривиальных эффектов, обусловленных неспаренными электронами в мезоатомах и дающих наблюдаемое в работах<sup>/1-4,8/</sup> увеличение числа электронов и смещение уровней.

Так как  $\mu^-$ -мезон имеет магнитный момент на порядок больший ядерного магнетона, то понятно, что обнаружение таких эффектов в мезоатомах дало бы в наши руки новый, более чувствительный метод исследования магнитных свойств атомов и гидридов переходных металлов, актинидов и лантанидов<sup>/9/</sup>.

Удобными объектами для такого рода поисковых опытов являются те парамагнитные металлы, при растворении водорода в которых образуются гидриды, как, например, палладий и титан. Действительно, система палладий-водород - одна из наиболее полно исследованных. Магнитная восприимчивость палладия  $\chi \cdot 10^6 = 600$  убывает линейно с увеличением концентрации растворенного водорода и при содержании водорода, равном 0,6 на атом палладия  $\chi \cdot 10^6 = 0$ ; парамагнетизм системы титан-водород в пределах от  $Ti$  до  $TiH_{1,8}$  увеличивается всего лишь на 25%<sup>/10/</sup>. Поэтому систему  $Pd - H$  удобно использовать для поисков аномалий от неспаренных электронов, а систему  $Ti - H$  - для контроля роли водорода в гидридах при образовании мезоатомов. В данной работе были произведены относительные измерения "вероятности распада"  $\mu^-$ -мезонов при различных значениях числа неспаренных электронов в мезоатомах.

## 2. Эксперимент

Вероятность поглощения  $\Lambda$   $\mu^-$ -мезонов в мезоатоме с данным атомным номером  $Z$  равна:

$$\Lambda(Z) = \Lambda_p(Z) + \Lambda_s(Z), \quad (1)$$

где  $\Lambda_p(Z)$  - вероятность распада мезона, а  $\Lambda_s(Z)$  - вероятность захвата мезона ядром.

Выход электронов распада  $Y_e$  можно записать:

$$Y_e = \frac{N_e}{N_\mu} \approx \frac{\Lambda_p(Z)}{\Lambda(Z)}, \quad (2)$$

где  $N_\mu$  - число остановившихся в мишени мезонов.

Из выражения (2) следует, что если в исследуемых металлах и их гидридах величины  $\Lambda$  известны, то измерение выхода электронов при различных концентрациях водорода дает возможность найти величину  $\Lambda_p$  при разных значениях числа неспаренных спинов<sup>/9/</sup>. И, наоборот, если величины  $\Lambda_p$  известны, то на основании измерения  $Y_e$  при различных концентрациях водорода можно определить величины  $\Lambda$  в металлах и их гидридах.

Наблюдаемое в опытах<sup>/9/</sup> равенство в пределах ошибок опыта величин поляризации  $\mu^-$ -мезонов в мезоатомах графита, политена, парафина и гидрида палладия  $PdH_{0,6}$ , а также совпадение частоты прецессии спина мезоатомов с частотой прецессии спина "свободного" мезона грубо свидетельствуют в пользу равенства  $\Lambda$  в металле и его гидридах. Для более точного контроля постоянства величины  $\Lambda$  можно использовать мишени из  $Ti$  и  $TiH_{1,8}$ , а также из  $PdH_{0,6}$  и  $PdH_{1,0}$ , парамагнетизм которых мало отличается, а, следовательно, и искомые величины  $\Lambda_p$  приблизительно одинаковы. Для поисков аномалии мы решили использовать мишени из  $Pd, PdH_{0,3}, PdH_{0,6}$ .

На рис. 1 приведена блок-схема экспериментальной установки. Отрицательные  $\mu^-$ -мезоны, останавливающиеся в мишени 6, регистрировались схемой 10 антисовпадений 1+2-3. Импульсы со схемы 10 после усиления в 12 и формирования в 14 задерживались на время  $t_1 = 0,1$  мксек. Задержанные импульсы запускали триггер 18, который одновременно открывал две идентичные схемы пропускания ("ворота") 20 и 23 на время  $\Delta t = 1$  мксек. Электроны от распада  $\mu^-$ -мезонов, а также фон от постороннего излучения фиксировались схемой 11 совпадений 4+5. Импульсы со схемы 11, усиленные в 13 и сформированные в 15, раздваивались, а затем поступали на вход "ворот" 20 задержанными на время  $t_2 \geq t_1 + \Delta t$  и на вход "ворот" 23 - без задержки. Благодаря использованию двух идентичных "ворот" и задержки  $t_2$ , можно было на опыте одновременно регистрировать в пересчетном устройстве 25 число импульсов от электронов распада и фона постороннего излучения, а в пересчетном устройстве 22 - только число фоновых импульсов. Разность числа отсчетов в пересчетных устройствах 25 и 22 будет представлять собой число электронов распада. Импульсы с триггера 18 через отдельный выход направлялись на пересчетное устройство 19, регистрирующее число открываний "ворот". Показания его служили в качестве монитора.

Все мишени имели одинаковые размеры: площадь  $12 \times 12$  см, толщина  $5 \text{ г/см}^2$ . Толщины мишеней в  $\text{г/см}^2$  были равными по той причине, что водород в гидридах находится в ионизированном состоянии. Угол, под которым ось детектора электронов и мишень располагались по отношению к "оси" пучка мезонов, был равен  $90^\circ$  и  $45^\circ$ , соответственно. Намагничивающая катушка 7 применялась для исключения разницы в угловых распределениях электронов распада<sup>/9/</sup>. Опыты с  $PdH_{0,6}$  и  $PdH_{1,0}$  производились при скомпенсированном рассеянном магнитном поле синхроциклотрона, в то время как в опытах с  $Pd, PdH_{0,3}, Ti$  и  $TiH_{1,8}$  величина тока в катушке была такой, что спины  $\mu^-$ -мезонов за время  $t_1 + \Delta t$  совершали в магнитном поле много оборотов<sup>/9/</sup>. Все условия опытов с использованными металлами и их гидридами были одинаковыми.

В таблице 1 данные измеренные отношения выхода электронов.

№№ пп	Измеренные отношения выхода электронов		
1	$Y_{TiH_{1,8}}$	$/ Y_{Ti}$	$= 1,00 \pm 0,02$
2	$Y_{PdH_{1,0}}$	$/ Y_{PdH_{0,6}}$	$= 1,02 \pm 0,02$
3	$Y_{PdH_{0,6}}$	$/ Y_{Pd}$	$= 0,99 \pm 0,02$
4	$Y_{PdH_{0,3}}$	$/ Y_{Pd}$	$= 1,01 \pm 0,02$

Указанные ошибки являются стандартными статистическими отклонениями.

### 3. Обсуждение полученных результатов

Как следует из таблицы, величины выхода электронов из палладия и его гидридов получились одинаковыми в пределах статистических ошибок. Равными между собой, в пределах ошибок опыта, оказались и значения выхода электронов для титана и его гидрида  $TiH_{1,8}$ . Равенство единице величины отношения выхода электронов в  $Ti$  и  $TiH_{1,8}$ , магнитные восприимчивости которых мало отличаются друг от друга<sup>/10/</sup>, прямо свидетельствует в пользу того, что перехват мезонов атомами металла в гидридах происходит за время, меньшее, чем время жизни мезона в металле. Разумно предположить, что мезоны не будут "задерживаться" на атомах водорода и при меньшей его концентрации в гидридах, как, например, в  $PdH_{0,3}$  и  $PdH_{0,6}$ .

Как известно, химический состав, которому соответствует наибольшее содержание водорода для палладия, суть  $PdH_{0,6}$ . В этом растворе еще существуют силы связи между протонами и атомами металла. Равенство величины выхода электронов в  $PdH_{1,0}$  и  $PdH_{0,6}$  свидетельствует о том, что в  $PdH_{1,0}$ , где, по-видимому, остальная часть протонов не связана с атомами металла, мезоны также не задерживаются на атомах водорода.

Магнитные восприимчивости для  $Pd$  и  $PdH_{0,3}$  равны  $\chi \cdot 10^6 \sim 600$  и  $\chi \cdot 10^6 \sim 300$ , соответственно. Наблюдаемое равенство выхода электронов из  $Pd$  и  $PdH_{0,6}$ , а также из  $PdH_{0,3}$  и  $PdH_{0,6}$  прямо указывает на отсутствие эффектов, обусловленных неспаренными электронами в мезоатомах и дающих наблюдаемое в работах<sup>/1-4/</sup> увеличение числа электронов. Действительно, отношение  $\xi$ , измеренной в работе<sup>/4/</sup>, к рассчитанной<sup>/5-7/</sup> вероятности распада в мезоатомах никеля равно  $\xi = 1,15$ . В атоме палладия в среднем 0,6 свободных спинов, как и у атомов никеля. Если увеличение числа электронов происходит только за счет действия неспаренных спинов, то  $\xi = 1,15$  должно наблюдаться в опытах с  $Pd$  и  $PdH_{0,6}$ . Измеренное отличие значения  $\xi$  от единицы, как следует из соотношения (2) и таблицы 1, не превышает 5% с вероятностью 95%.

Авторы считают своим долгом поблагодарить проф. Б.Н.Финкельштейна и О.Т.Малочкова за ценные советы и помощь, оказанную в приобретении мишеней. За ряд ценных замечаний авторы благодарны проф. Я.А.Сморозинскому.

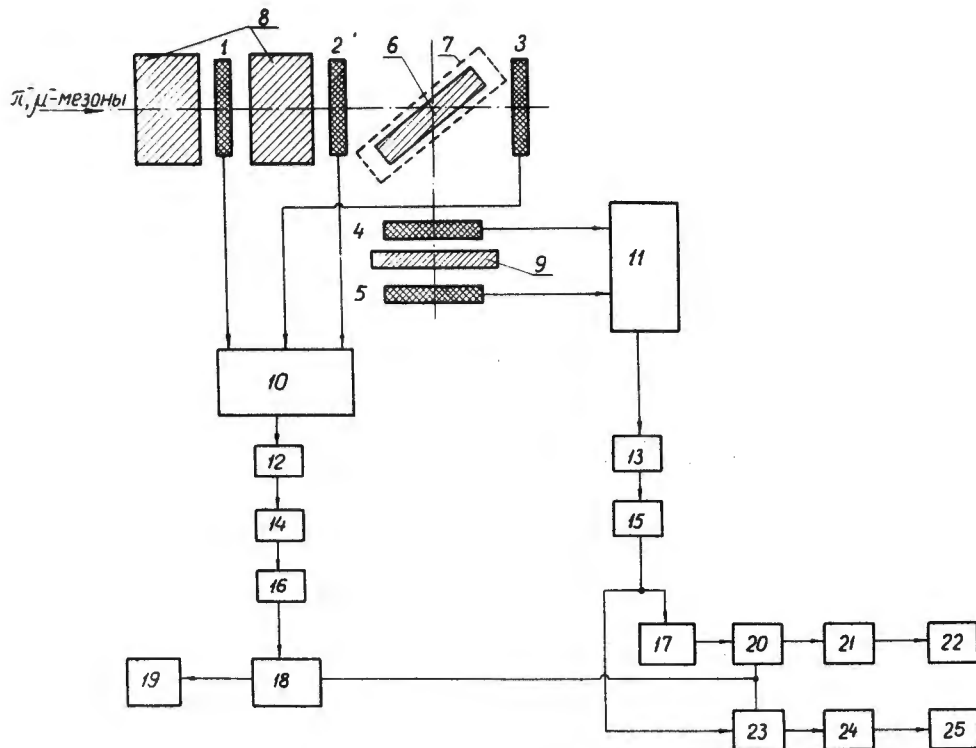


Рис. 1. Блок-схема установки.

1, 2, 3, 4, 5 - сцинтилляционные счетчики; 6 - мишень, 7 - намагничивающая катушка; 8 - медные фильтры; 9 - алюминиевый фильтр; 10 - схема анти-совпадений; 11 - схема совпадений; 12, 13 - усилители; 14, 15 - формирующие устройства; 16 - задержка  $t_1$ ; 17 - задержка  $t_2$ ; 18 - триггер; 20, 23 - схемы пропускания ("ворота"); 21, 24 - дискриминаторы; 19, 22, 25 - пересчетные устройства.

### Л и т е р а т у р а

1. R.A.Lundy, J.C.Sens, R.A.Swanson, V.L.Telegdi and D.D.Yovanovitch, Phys. Rev. Lett., 1, 102 (1958).
2. A.Astbury, M.Hussain, M.A.Kemp, N.H.Lipman, H.Muirhead, R.G.P.Voss and A.Kirk, Proc. Phys. Soc. (London) 73, 314 (1959).
3. W.A.Barrett, F.E.Holmstrom and J.W.Keuffel, Phys. Rev. 113, 661 (1959).
4. D.D.Yovanovitch, Phys. Rev. 117, 1580 (1960).
5. H.Uberall, Phys. Rev. 119, 365 (1960).
6. V.Gilinsky and J.Mathews, Phys. Rev. 120, 1450 (1960).
7. R.W.Huff, Annals of Physics 16, 288 (1961).
8. C.Scott, Johnson, E.P.Hincks and H.L.Anderson, Chicago Preprint EFJNS-61-59.
9. Л.Б.Егоров, Г.В.Журавлев, А.Е.Игнатенко, Ли Сюан-мин, М.Г.Петрашку, Д.Чултэм, ЖЭТФ, 40, 391 (1961).
10. W.Trzebiatowski, B.Stalinski, Bull. Acad. Polon. Sci. 1953, Q, (3/4), 131.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 апреля 1962 года.