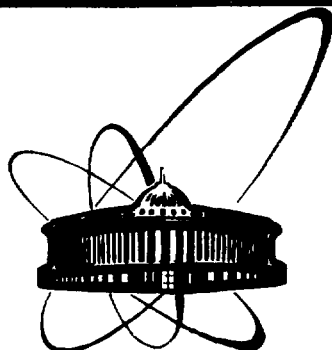


2

0000000000



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P15 - 12904

А.Андреефф, В.С.Евсеев, А.Минкова,  
Х.-Г.Ортлипп, В.С.Роганов, В.Н.Рыбаков,  
Б.М.Сабиров, В.Д.Фромм

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СТРУКТУРЫ  
МЮ-МЕЗОРЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ  
В КРЕМНИИ И ОКИСЛАХ ВАНАДИЯ**

**1979**

P15 - 12904

А.Андреефф, В.С.Евсеев, А.Минкова,  
Х.-Г.Ортелеп, В.С.Роганов, В.Н.Рыбаков,  
Б.М.Сабиров, В.Д.Фромм

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СТРУКТУРЫ  
МЮ-МЕЗОРЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ  
В КРЕМНИИ И ОКИСЛАХ ВАНАДИЯ**

Андреефф А. и др.

P15 - 12904

Исследование температурной зависимости структуры  
мю-мезорентгеновских спектров в кремнии и окислах  
ванадия

С целью исследования влияния макроскопических свойств вещества на процесс атомного захвата отрицательных мюонов измерены спектры мю-мезорентгеновского излучения из кремния при температурах  $77^{\circ}\text{K}$  и  $295^{\circ}\text{K}$ ,  $\text{VO}_2/295^{\circ}\text{K}$  и  $355^{\circ}\text{K}$  и  $\text{V}_2\text{O}_3/77^{\circ}\text{K}$  и  $295^{\circ}\text{K}$  с помощью  $\text{Ge}(\text{Li})$  спектрометра  $55\text{ см}^3$  в режиме он-лайн. В результате показано, что ни изменение проводимости во всех трех мишенях, ни перестройка кристаллической структуры окислов ванадия при фазовых переходах не вызывают изменений в структуре мезорентгеновских спектров. Полученные результаты обсуждаются с привлечением понятия "временная яма".

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Andreeff A. et al.

P15 - 12904

Investigation of Temperature Dependence  
of Muonic X-Ray Spectra Structure in Silicon  
and Vanadium Oxides

To study the influence of matter macroscopic properties on the negative muon atomic capture the muonic X-ray spectra have been measured from silicon at  $77^{\circ}\text{K}$  and  $295^{\circ}\text{K}$ , from  $\text{VO}_2$  at  $295^{\circ}\text{K}$  and  $355^{\circ}\text{K}$ , and from  $\text{V}_2\text{O}_3$  at  $77^{\circ}\text{K}$  and  $295^{\circ}\text{K}$  using a  $\text{Ge}(\text{Li})$  spectrometer  $55\text{ см}^3$  in volume and "on-line" technique. It is shown that neither changes of a conductivity in all targets, nor a rebuilding of both vanadium oxides crystal structure at phase transition does not cause any alteration in muonic X-ray spectrum. The obtained results are discussed in terms of a "time pit".

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Структура мезорентгеновских спектров в зависимости от особенностей химической связи исследуемого атома изучалась в последние годы во многих работах <sup>1-7</sup>, авторы которых обнаружили ряд закономерностей этого явления и предложили новые подходы к его интерпретации. Однако значительно меньше проведено исследований зависимости структуры  $X_{\mu}$  от физических свойств и состояния вещества <sup>8,9</sup>. Такие работы необходимы и для выявления физических параметров, определяющих в конечном счете химические эффекты в структуре  $X_{\mu}$ , и для поисков новых физических факторов, влияющих на эту структуру.

Целью настоящей работы были поиски влияния температуры на структуру  $X_{\mu}$  в кремнии и окислах ванадия для проверки и развития представлений, предложенных ранее в работе <sup>7</sup>, где рассмотрена новая гипотеза для объяснения химических эффектов в структуре  $X_{\mu}$ .

Согласно этой гипотезе, ближайшее окружение мезоатома может влиять на интенсивность линий вблизи границы К-, L-серий в тот момент, когда мюон находится на уровне, характеризуемом минимальной шириной. Мюон, опускаясь с верхних уровней, задерживается на нем вследствие того, что вероятность Оже-переходов с этого уровня уже мала, а вероятность радиационных переходов - еще мала /"временная яма"/.

В зависимости от того, какое количество электронов может черпать из окружающей среды мезоатом для прохождения Оже-части каскада, радиационная часть каскада начнется с разных уровней, что приведет к изменению интенсивности линий вблизи верхней границы серий.

На основе этой гипотезы объяснены <sup>7</sup> многие закономерности, выявленные при экспериментальном изучении химических эффектов в  $X_{\mu}$ .

В настоящей работе изучались два вопроса:

1. Влияют ли электроны проводимости кремния на структуру  $X_{\mu}$ ? Меняя температуру мишени, можно в широких пределах /в 10 раз/ изменять плотность электронов проводимости.

2. Влияют ли на структуру  $X_\mu$  фазовые переходы в окислах ванадия  $VO_2$  и  $V_2O_3$ ? В указанных окислах при некоторой критической температуре  $T_K$  происходит фазовый переход первого рода, причем при  $T < T_K$  окислы ведут себя как полупроводники, а при  $T > T_K$  - как металлы  $^{10-15}$ . При переходе через критическую точку электропроводность меняется в  $10^2$  раз для  $VO_2$  и в  $10^6$  раз для  $V_2O_3$ . При фазовом переходе происходит также изменение кристаллической решетки:  $VO_2$  при  $T_K \geq 345^\circ K$  переходит из состояния решетки с моноклинной структурой в состояние с объемно-центрированной решеткой, а  $V_2O_3$  при  $T_K \geq 150^\circ K$  переходит от симметрии ромбоэдра в моноклинную форму.

Измерения проводились на чистом мюонном пучке синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Расположение аппаратуры было таким же как в работе  $^{16}$ . Мезорентгеновское излучение регистрировалось  $Ge(Li)$ -детектором объемом  $55 \text{ см}^3$  с энергетическим разрешением  $2,5 \text{ кэВ}$  на линии  $^{60}Co$   $/E_\gamma = 1332,5 \text{ кэВ}/$ . Все мишени имели площадь  $8 \times 8 \text{ см}^2$  и толщину /по пучку и по направлению на детектор/ такую, чтобы поправки на поглощение  $X_\mu$  в каждой мишени не превышали  $1 \div 2\%$ .

Измерения проводились в режиме он-лайн  $^{16}$  на ЭВМ HP-2116C с помощью программы STORE  $^{17}$ . Площади полученных в эксперименте пиков в спектрах  $X_\mu$  определялись с помощью программы SAMPO  $^{18}$  на ЭВМ CDC-6500 методом фитирования экспериментальных пиков к гауссовскому распределению /с учетом экспоненциальных "хвостов" на краях линии/. Результаты экспериментов удобно представлять в виде отношения  $R$  площадей пиков, соответствующих одним и тем же переходам при двух температурах. В этом случае нет необходимости учитывать ошибку эффективности детектора.

Мишень из кремния в виде порошка была помещена в пенопластовую коробку; измерения проводились при температурах  $77^\circ K$  и  $295^\circ K$ . Использованная в качестве мишени трехокись ванадия была промышленного изготовления, а двуокись ванадия была приготовлена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в результате спекания смеси  $V_2O_3$  и  $V_2O_5$  при температуре  $1020-1070^\circ K$  в эвакуированной кварцевой ампуле в течение  $40-50$  часов  $^{19}$ . Проведенный рентгено-структурный анализ подтвердил образование соединения  $VO_2$ . Вес мишеней  $VO_2$  и  $V_2O_3$  составлял соответственно  $210$  и  $240$  г. Измерения мезорентгеновских спектров излучения из  $VO_2$  производились при температурах  $295^\circ K$  и  $355^\circ K$ , а из  $V_2O_3$  - при  $77^\circ K$  и  $295^\circ K$ .

На рисунке показаны результаты экспериментов - отношение  $R$  относительных интенсивностей  $I_{отн}$  линий мю-мезорент-

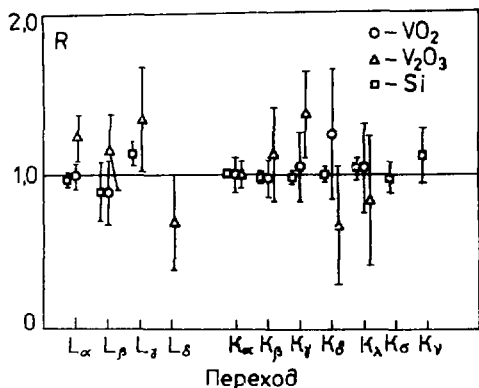
геновских спектров /K- и L-серии/ при двух температурах:

$$\text{для кремния } R = \frac{I_{295^\circ\text{K}}}{I_{77^\circ\text{K}}}$$

для ванадия в оксидах  $\text{VO}_2$  и  $\text{V}_2\text{O}_3$

$$R = \frac{I(T > T_K)}{I(T < T_K)}$$

Видно, что в пределах экспериментальных погрешностей во всех трех мишенях не обнаружена температурная зависимость структуры



K- и L-серий мю-мезорентгеновского излучения. Эти результаты находятся в качественном согласии с основными положениями гипотезы, учитывающей конкуренцию Оже- и радиационных переходов вблизи "временной ямы" <sup>17/</sup>.

Электроны проводимости в кремнии не могут влиять на скорость прохождения области "временной ямы", поскольку время пребывания мюона на этом уровне, по-видимому, существенно меньше времени релаксации в металлах:  $\tau_{\text{рел.}} \approx 10^{-13} - 10^{-14} \text{с}$  <sup>20/</sup> /  $\tau_{\text{рел.}}$  определяет скорость попадания электрона проводимости в область положительно заряженного иона/.

То обстоятельство, что в оксидах ванадия ни перестройка кристаллической структуры, ни изменение электропроводности /за счет увеличения подвижности электронов проводимости <sup>10-15/</sup> не приводят к заметному изменению структуры  $X_\mu$ . также может быть понято согласно гипотезе, сформулированной в <sup>17/</sup>: интенсивность переходов на видимой границе K-, L-... серий должна изменяться лишь при изменении расстояния между исследуемым атомом и его ближайшими соседями по химической связи /чем меньше расстояние, тем больше вероятность Оже-переходов за счет электронов соседних атомов, быстро перемещающихся <sup>21/</sup> к атому, захватившему мюон, тем меньше интенсивность линий на видимой границе K-, L-... серий/.

Рентгено-структурный анализ показывает, что, например, в  $\text{VO}_2$  при переходе через  $T_K$  расстояние  $d_{V-V}$  уменьшается на 7,5% /от 2,87 Å до 2,65 Å/, а расстояние  $d_{V-O}$  - на 5,5%. Изменения в  $d_{V-V}$  и  $d_{V-O}$  для  $\text{V}_2\text{O}_3$  еще меньше <sup>10-15/</sup>. Ранее в опытах с легкими элементами <sup>8/</sup> нами для ряда соединений углерода была обнаружена корреляция между

структурой  $X_{\mu}$  в углероде и расстоянием  $d_{C-C}$ ; из данных этой работы можно определить, что уменьшение расстояния  $d_{C-C}$  на 1% приводит к уменьшению интенсивности линии, соответствующей переходу  $6p \rightarrow 1s$ , примерно на 3%, а для более тяжелых атомов /фосфора, серы/ не более, чем на 1%<sup>16/</sup>. Следовательно, согласно механизму "временной ямы"<sup>17/</sup>, можно ожидать для перехода  $6p \rightarrow 1s$  в ванадии не более /5-7%/ изменения интенсивности при фазовом переходе в  $VO_2$  и  $V_2O_3$ . Полученные нами экспериментальные данные /см. рисунок/ не противоречат такой оценке.

Авторы выражают благодарность А.Н.Иващенко за помощь в проведении рентгеноструктурного анализа полученных образцов  $VO_2$  и В.А.Гошеву за помощь в подготовке и проведении эксперимента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Condo G.T. Phys.Rev.Lett., 1974, 33, p.126.
2. Mausner L.F. et al. LBL-5544, 1976.
3. Knight T.D. et al. Phys.Rev., 1976, A13, p.43.
4. Kunselman R. et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 36, p.446.
5. Vogel P. et al. Nucl.Phys., 1975, A254, p.445.
6. Андерт К. и др. ОИЯИ, P15-10661, Дубна, 1977.
7. Евсеев В.С. и др. ОИЯИ, P15-10662, Дубна, 1977.
8. Dubler T. et al. Мезоны в веществе. ОИЯИ, D1,2,14-10908, Дубна, 1977, с.146.
9. Евсеев В.С. и др. Мезоны в веществе. ОИЯИ, D1,2,14-10908, Дубна, 1977, с.162.
10. Morin F.J. Phys.Rev.Lett., 1956, 3, p.34.
11. Anderson G. Acta Chem.Scand., 1956, 10, p.623.
12. Westman S. Acta Chem. Scand., 1961, 15, p.217.
13. Мирлин Д.Н. Физика твердого тела. 1968, 10, с.3697.
14. Feinleib J., Paul W. Phys.Rev., 1967, 155, p.841.
15. Adler D. et al. Phys.Rev., 1967, 155, p.851.
16. Андерт К. и др. ОИЯИ, P15-10373, Дубна, 1977.
17. Гонусек М., Фромм В.Д. ОИЯИ, 10-10007, Дубна, 1976.
18. Routti J.T. UCRL-19452, 1969.
19. Брауэр Д. Руководство по препаративной неорганической химии. ИИЛ, М., 1956.
20. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. ИИЛ, М., 1966.
21. Труды симпозиума "Элементарные процессы в химии высоких энергий". "Наука", М., 1965, с.194; Молин Ю.П. и др. Кинетика и катализ, 1961, 2, с.192.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 ноября 1979 года.

## Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,  
если они не были заказаны ранее.

P1,2-7642	Труды Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973.	7 р. 15 к.
D1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	2 р. 05 к.
P1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	2 р. 60 к.
D6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975.	1 р. 90 к.
D3-9164	Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, 1975.	4 р. 20 к.
D1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
D13-9287	Труды VIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1975.	5 р. 00 к.
D7-9734	Международная школа-семинар по взаимодействию тяжелых ионов с ядрами и синтезу новых элементов /Дубна, 1975/.	3 р. 00 к.
D2-9788	Нелокальные, нелинейные и нерешормируемые теории поля /Алушта, 1976/.	2 р. 40 к.
D-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
D9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
D2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D10,11-11264	Труды Совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.



Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды У1 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна 1978. /2 тома/	7 р. 48 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна 1978.	5 р. 00 к.
Р18-12147	Труды III совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач.	2 р. 20 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
Р2-12462	Труды V Международного совещания по нелокальным теориям поля. Алушта, 1979.	2 р. 25 к.
Д2-11707	Труды XI Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий в релятивистской ядерной физике. Гомель, 1977.	6 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:

101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,

издательский отдел Объединенного института ядерных исследований



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Заказ 27369. Тираж 490. Уч.-изд. листов 0,4.  
Редактор Т.Я. Жабицкая.  
Набор В.С. Румянцевой, Н.И. Коротковой.  
Макет Н.А. Киселевой. Подписано к печати 4.12.79 г.