

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P14-88-571

А.С.Александров\*, А.А.Астапов\*, В.М.Дробин,  
Е.И.Дьячков, Л.Н.Зайцев\*, А.В.Кузнецов\*,  
В.И.Лушиков, Е.А.Протасов\*, Г.П.Решетников,  
В.В.Сиколенко, В.И.Смирнов\*, В.Н.Трофимов,  
С.В.Чернов\*, А.Л.Шишкин

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ  
НА КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ  
СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ  $YBa_2Cu_3O_7$

Направлено в журнал "Физика твердого тела"

---

\* Московский инженерно-физический институт

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Накопленная к настоящему времени информация свидетельствует о том, что любые сверхпроводники являются чувствительными к облучению, хотя степень радиорезистентности зависит не только от условий облучения, но и от структуры, свойств и состояния материала<sup>/1/</sup>.

Новую керамику  $YBa_2Cu_3O_7$  /пленки и монокристаллы/ начали сразу же изучать при облучении нейтронами<sup>/2,3/</sup> и ионами<sup>/4,5/</sup> низких энергий. Однако пока не имеется работ о радиорезистентности высокотемпературных сверхпроводников в полях излучения сверхвысоких энергий.

Перспектива использования сверхпроводниковых изделий при азотных температурах в ускорителях и в космосе<sup>/6/</sup> стимулировала эту работу. Полученные экспериментальные результаты могут способствовать также пониманию механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

## 2. ОБРАЗЦЫ

Были изготовлены различные типы образцов /табл. 1/ номинального состава  $YBa_2Cu_3O_7$  керамики, которые оказались практически однофазными согласно рентгенодифракционным исследованиям. Незначительное различие в режимах термообработки и исходных окислов, по-видимому, явилось причиной отличия как абсолютных значений удельного сопротивления при 300 К /от 10 до 0,5 мОм·см/, так и температурного хода сопротивления до точки сверхпроводящего перехода ( $R(300)/R(100) \approx 2-10$ ).

Во всех случаях наблюдался "металлический" ход сопротивления с понижением температуры, причем  $\rho_0(100) = 0,2$

4 мОм·см коррелировало с плотностью образцов от 5,5 до 3,2 г/см<sup>3</sup>.

Размеры образцов были выбраны произвольно от 1x1x5,5 мм<sup>3</sup> до 1,9x2,9x18,4 мм<sup>3</sup> и определялись, в основном, типами контактов токовых и потенциальных проводов. Нами исследованы следующие типы контактов: а/ золотые запрессованные проводочки ( $R_{пот} = R_{ток} = 0,1$  Ом); б/ серебряная паста под клеем БФ-2 ( $R_{пот} = 15$  Ом,  $R_{ток} = 0,5$  Ом); в/ прижимные серебряные ( $R_{ток} = 0,7$  Ом) и индиевые ( $R_{пот} = 30$  Ом); г/ позолоченные

Таблица 1

Дозы последовательного облучения, Дж/кг /Гр/

№ образца	P <sup>н</sup> ГэВ	P <sup>н</sup> ГэВ	12C		P		Сумма
			0,66 ГэВ/н	3,65 ГэВ/н	0,66 ГэВ	3,65 ГэВ/н	
1	—	—	—	—	—	—	—
2	5,2·10 <sup>4</sup>	7,8·10 <sup>4</sup>	—	—	3,5·10 <sup>5</sup>	—	4,6·10 <sup>5</sup>
3	—	—	5·10 <sup>3</sup>	1,3·10 <sup>4</sup>	—	—	1,8·10 <sup>4</sup>
4	10 <sup>5</sup>	1,8·10 <sup>4</sup>	2,6·10 <sup>3</sup>	3,5·10 <sup>4</sup>	—	—	3,2·10 <sup>6</sup>
5	—	—	8·10 <sup>2</sup>	—	—	3,5·10 <sup>5</sup>	3,6·10 <sup>5</sup>
6	—	3·10 <sup>4</sup>	5·10 <sup>3</sup>	—	—	—	3,8·10 <sup>4</sup>
7	—	—	—	—	2,2·10 <sup>5</sup>	1,7·10 <sup>8</sup>	1,7·10 <sup>8</sup>
8	—	—	—	3,4·10 <sup>4</sup>	—	—	9,4·10 <sup>4</sup>
9	—	—	—	—	2,0·10 <sup>7</sup>	2,9·10 <sup>8</sup>	3,1·10 <sup>8</sup>
10	—	—	—	2,8·10 <sup>4</sup>	—	—	4,7·10 <sup>5</sup>
11	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—
21	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—
31	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—	—	—
34	—	—	—	—	—	—	—
35	—	—	—	—	—	—	—
36	—	—	—	—	—	—	—
37	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	—	—	—	—	—
39	—	—	—	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—
41	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—
46	—	—	—	—	—	—	—
47	—	—	—	—	—	—	—
48	—	—	—	—	—	—	—
49	—	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—
51	—	—	—	—	—	—	—
52	—	—	—	—	—	—	—
53	—	—	—	—	—	—	—
54	—	—	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—
56	—	—	—	—	—	—	—
57	—	—	—	—	—	—	—
58	—	—	—	—	—	—	—
59	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—
61	—	—	—	—	—	—	—
62	—	—	—	—	—	—	—
63	—	—	—	—	—	—	—
64	—	—	—	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—	—	—
66	—	—	—	—	—	—	—
67	—	—	—	—	—	—	—
68	—	—	—	—	—	—	—
69	—	—	—	—	—	—	—
70	—	—	—	—	—	—	—
71	—	—	—	—	—	—	—
72	—	—	—	—	—	—	—
73	—	—	—	—	—	—	—
74	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—
76	—	—	—	—	—	—	—
77	—	—	—	—	—	—	—
78	—	—	—	—	—	—	—
79	—	—	—	—	—	—	—
80	—	—	—	—	—	—	—
81	—	—	—	—	—	—	—
82	—	—	—	—	—	—	—
83	—	—	—	—	—	—	—
84	—	—	—	—	—	—	—
85	—	—	—	—	—	—	—
86	—	—	—	—	—	—	—
87	—	—	—	—	—	—	—
88	—	—	—	—	—	—	—
89	—	—	—	—	—	—	—
90	—	—	—	—	—	—	—
91	—	—	—	—	—	—	—
92	—	—	—	—	—	—	—
93	—	—	—	—	—	—	—
94	—	—	—	—	—	—	—
95	—	—	—	—	—	—	—
96	—	—	—	—	—	—	—
97	—	—	—	—	—	—	—
98	—	—	—	—	—	—	—
99	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—

М - МСЭИ, П - ПУБКА СИЭИ, Б - Байкова И-Т /ИИЭТ/.  
\* За толстыми образцами 6.

прижимные ( $R_{\text{пот}} \leq 100 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{ток}} \approx 0,1 \text{ Ом}$ ); д/ на сплаве Вуда ( $R_{\text{пот}} = 12 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{ток}} \approx 2,5 \text{ Ом}$ ). Сопротивления контактов измерены в жидком азоте. Потенциальные контакты располагались возможно дальше от токовых во избежание перегрева образцов.

### 3. УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Дозы последовательного облучения образцов представлены в табл. 1. До  $\sim 10^5 \text{ Дж/кг /Гр/}$  они определялись независимо от флюенса по изменению оптической плотности цветочных пленочных детекторов /ЦДП/ с помощью микрофотоспектрометра, как и в работе /8/.

При дозах больше  $10^5 \text{ Гр}$  для мониторинга флюенса измерялась активация алюминиевой фольги по реакции  $^{27}\text{Al}(p, \text{ЗрЗп})^{22}\text{Na}$ , а дозы оценивались по средней тормозной способности частиц ( $dE/dx$ ) с учетом ядерных взаимодействий в образце. Связь между единичным флюенсом в пучке  $\Phi$  и дозой  $D$  дается коэффициентами:  $K_p(0,66 \text{ ГэВ}) = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ Гр/см}^{-2}$ ;  $K_{C_{12}}(3,65 \text{ ГэВ/н.}) = 17 \cdot 10^{-10} \text{ Гр/см}^{-2}$ . Переход от флюенса к дозе за толстыми мишенями требует специальных расчетов /6/. Во всех случаях погрешность в оценке дозы не превышала 20%. Образцы подвергались длительному облучению десятки, сотни часов при мощности дозы  $\sim 400 \text{ Гр/с}$ , поэтому радиационный нагрев выше  $100^\circ \text{C}$  исключен.

В соответствии с методикой /7/ для протонов  $0,66 \text{ ГэВ}$  было вычислено число смещений на атом  $S_d$  /табл. 2/. Заметим, что от типа и энергии частиц  $S_d$  и  $D$  изменяются приблизительно одинаково. Например:  $S_d(0,66 \text{ ГэВ}) = 10^{-3}$ ,  $\Phi = 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $D = 1,8 \cdot 10^9 \text{ Гр}$ ;  $S_d(6,7 \text{ МэВ}) = 10^{-3}$ ,  $\Phi = 5,7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2/5}$ ,  $D = 10^9 \text{ Гр}$ ;  $S_d(0,3 \text{ МэВ}) = 10^{-3}$ ,  $\Phi = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2/4}$ ,  $D = 1,2 \cdot 10^9 \text{ Гр}$ . По этой причине все дальнейшие результаты мы приводим в зависимости от дозы облучения.

### 4. ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА $J_c$

Измерения критического тока  $J_c$  проводились на трех различных установках. В одной из них образец размещался в гелии на массивном медном держателе, температура которого задавалась термостабилизатором СГ-200 /Intermagnet Гр/ и измерялась термометром сопротивления типа ПУ /точность не хуже  $\pm 0,5 \text{ К/}$ . Вольт-амперные характеристики /ВАХ/ образцов снимались 4 контактным методом и записывались 2 координатным самописцем. Развертка тока осуществлялась с помощью NW-234 /Венгрия/. Крити-

Таблица 2  
Число смещений на атом от ед. флюенса,  $10^{-24}$

Процесс взаимодействия	Al расчет /7/	YBaCuO наша оценка	Cu расчет /7/
Кулоновское			
$R_{\text{перв.}} /0,66 \text{ ГэВ/}$	$2,8 \cdot 10^2$	-	$8,4 \cdot 10^2$
Ядерное упругое $R_{\text{перв.}}$	$8,9 \cdot 10^2$	-	$2,3 \cdot 10^2$
Полное упругое $R_{\text{перв.}}$	$1,1 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$
Каскадные $R_{\text{втор.}}$			
/упругое + неупругое/	6,6	38	4,5
Каскадные $n_{\text{втор.}}$			
/упругое + неупругое/	0,93	2,9	3,4
Испарительные $R_{\text{втор.}}$	5,7	47	55
Испарительные $n_{\text{втор.}}$	52	88	$2,2 \cdot 10^2$
Ядра отдачи	$8,8 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$
Полное неупругое взаимодействие			
	$9,5 \cdot 10^2$	$4,2 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$
Суммарный вклад			
всех процессов	$2,1 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$

ческий ток определялся из ВАХ по уровню  $50 \text{ мкВ}$ . Результаты измерений  $J_c$  представлены на рис. 1.

При других измерениях ВАХ образцы помещались непосредственно в жидкий азот. Напряжение на потенциальных контактах измерялось вольтвольтметром Ф-128/1 и вольтметром В/21. Погрешность составила  $\pm 5\%$  в диапазоне  $1 - 10 \text{ мкВ}$  и  $\pm 2,5\%$  в диапазоне  $10 - 10^3 \text{ мкВ}$ . Ток в образцах измерялся с помощью стандартных шунтов. На рис. 2 показаны ВАХ при малых дозах облучения. Видно, что ВАХ до облучения и после облучения имеют

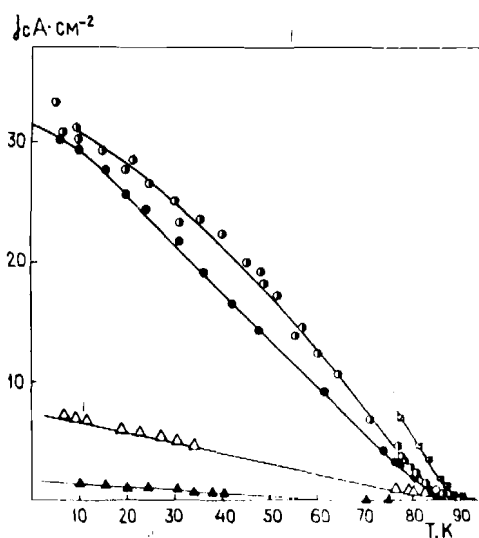
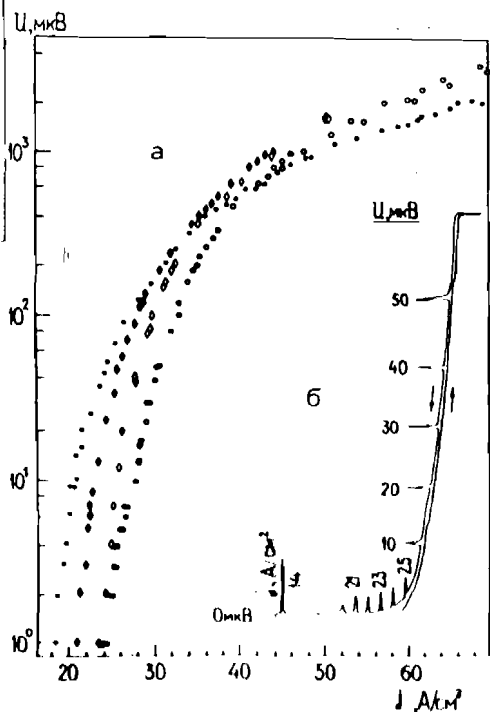


Рис. 1. Зависимость  $j_c(T)$ :  $\circ, \bullet$  - образец В 3 до облучения и после облучения дозой  $3 \cdot 10^4$  Гр;  $\Delta, \blacktriangle$  - образец В 4 до облучения и после облучения дозой  $2 \cdot 10^8$  Гр;  $\square$  - образец В 5 /не облучался/.

Рис. 2. Вольт-амперные характеристики в полулогарифмическом /а/ и натуральном /б/ масштабах:  $\circ, \bullet$  - образец Д 1 до облучения и после облучения дозой  $3,2 \cdot 10^6$  Гр;  $\diamond, \blacklozenge$  - образец Д 6 до облучения и после облучения дозой  $2,2 \cdot 10^5$  Гр.



характерные пересечения <sup>6/</sup>. При больших дозах происходит простой сдвиг кривой к малым  $J_c$ .

На рис. 3 заметна существенная деградация  $J_c$  в керамике  $YBa_2Cu_3O_7$  /по сравнению, например, с  $NbTi$  <sup>8/</sup>/. Разные по качеству и характеристикам  $\rho_0$  в нормальном состоянии /образцы очень хорошо укладываются на одну кривую. Однако под частицы /ядра углерода/ сдвигает эту кривую в область меньших доз облучения.

Следует отметить, что сопротивление большинства облученных образцов возрастает в 10-20 раз при дозе  $\sim 10^8$  Гр /некоторые образцы показывали меньшее изменение/. Это увеличение  $\rho_0$  связано с сокращением числа проводящих путей  $R_f$  вблизи перкопни-

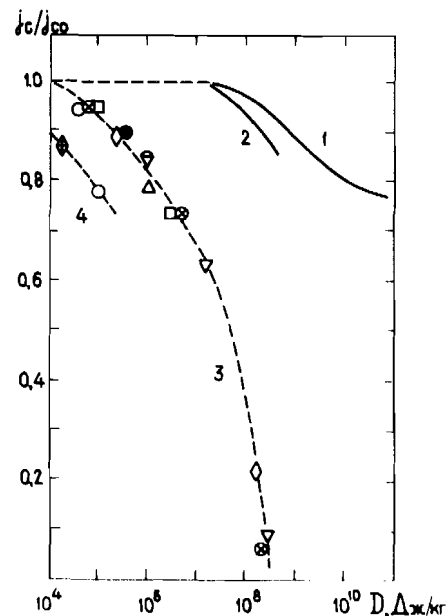


Рис. 3. Зависимость  $j_c/j_{c0}$ : 1,2 - облучение  $NbTi$  в ядерном реакторе и ускорителе /протоны 30 ГэВ/, соответственно; 3 - облучение протонами  $YBa_2Cu_3O_7$ ; 4 - то же при облучении ядрами углерода. /Обозначение точек см. табл. 1/.

ционного перехода. Дефекты с масштабом  $d \approx \xi$  ( $\xi$  - длина когерентности) являются идеальными с точки зрения пиннинга вихревых нитей, и не удивительно, что в монокристалле  $YBa_2Cu_3O_7$   $J_c$  значительно растет после облучения <sup>3/</sup>, а в керамике падает при одинаковых дозах.

### 5. ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА $T_c$

При малых дозах облучения  $\sim 10^5$  Гр, когда расстояния между разупорядоченными микрорегионами больше  $\xi$ ,  $T_c$  изменяется слабо. Неоднородности структуры могут приводить даже к первоначальному росту  $T_c$  <sup>1/</sup>, особенно в системах с заряженными примесями /облучение - протонами, электронами/.

Рис. 4. Изменение сопротивления в образцах М 1 и М 2, облученных ядрами углерода /а/: 1, 1' - до облучения и после облучения дозой  $1,8 \cdot 10^4$  Гр; 2, 2' - изменение образца сдвигатели без облучения и облученных протонами /б/: 1 - до облучения; 2 - после облучения дозой  $10^6$  Гр.

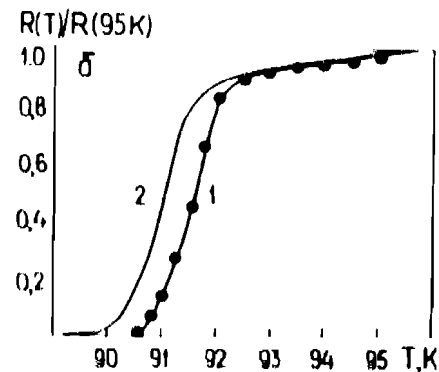
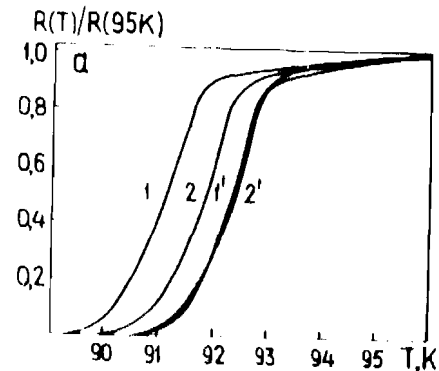


Таблица 3

Изменение характеристик после облучения

Обра- зец	Облучение /табл.1/	$\rho$ (95K) мОм см	$T_c$ , K	$\Delta T_c$ , K	TKC, мкОм/K
M1	до обл.	0,78	92,3	1,2	5,67
	1	0,98	92,1	1,3	3,94
	2	0,82	-	-	4,34
	3	0,73	92,3	1,2	5,02
M2*	до обл.	2,31/2,4/	93/92,4/	1,3	4,92/4,44/
	3	2,3	-	-	5,26
	5	2,9/2,2/	93,3/93,3/	1,2/1,2/	6,40/6,06/

\* В скобках значения для образца-свидетеля.

На рис. 4 показаны результаты измерения  $R(T)$ , выполненные 4-контактным методом в режиме постоянного тока /1 мА/ на двух независимых установках. В одной из них применялся термометр ТСУ ВНИИФТРИ, а в другой - термометр КГ ИФП АН УССР. Абсолютная погрешность  $\pm 0,5 - 1,0$  К.

В табл. 3  $T_c$  определены по началу перехода, а  $\Delta T_c$  по уровням сопротивления  $0,9 R(T_c)$  и  $0,1 R(T_c)$ . Так же определялись все  $T_c$ , которые приведены на рис. 5.

С увеличением дозы облучения расстояния между разупорядоченными микрообластями уменьшаются. Они начинают перекрывать друг друга, что приводит к "катастрофическому" падению  $T_c$  /рис. 5/. Ширина перехода  $\Delta T_c$  увеличивается до 2,5 К, а ТКС - до  $\sim 10,5$  при дозах  $10^{18}$  Гр. Один образец /Б4/ потерял сверхпроводимость при азотной температуре сразу после облучения /см. рис. 1/, другой /ДБ/ - только при повторном измерении спустя 1 месяц. Измерения  $R(T)$  были сделаны на импульсном токе, как и в работе [6].

Как видно, на рис. 5 различные по характеристикам и качеству образцы керамики  $YBa_2Cu_3O_7$  укладываются на универсальную кривую  $T_c(D)$ , причем наши результаты неплохо согласуются с данными измерения [2,5]. Измерение  $T_c$  в монокристалле [3] под действием облучения, естественно, отличается от деградации  $T_c$  в керамиках /рис. 5/, однако механизм такой деградации в монокристалле требует особого объяснения при наличии дополнительных экспериментальных данных.

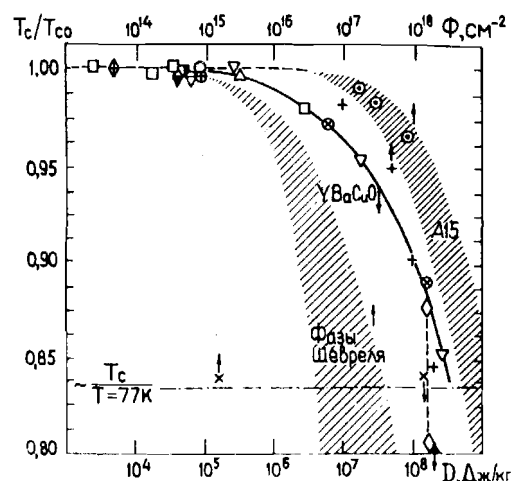


Рис. 5. Зависимость  $T_c/T_{c0}$  : облучение  $YBa_2Cu_3O_7$  протонами и ядрами /точки соответствуют образцам табл.1/;  $\circ$ ,  $+$  - монокристалл и керамика, соответственно, облученные нейтронами  $E > 0,1$  МэВ;  $\times$  - пленка  $1 \div 2$  мкм, облученная  $\alpha$ -частицами  $E_\alpha = 6,7$  МэВ.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под действием облучения  $YBa_2Cu_3O_7$  возникают разупорядоченные области /1/ вначале с  $d \approx 6 \div 8$  Å, которые можно отнести к "слабым"

пикам смещения. Энерговыведение в пике смещения растет сильнее, чем  $Z^3$ , поэтому мгновенная "температура" /за  $10^{-12}$  с/ может достигать  $\sim 4 \cdot 10^6$  К /ядро Cu/, что приводит к увеличению  $d \approx 30 \div 60$  Å.

Возникают внутренние напряжения и деформации кристаллической решетки, особенно на границе зерен /гранул/, где она деформирована еще до облучения /технологически/.

Для решения вопроса о микроскопической природе деградации  $T_c$  в облученных ВТСП необходимы измерения дозовой зависимости фононного спектра и электронной плотности состояний  $N(E)$ . Согласно теории радиационной стойкости сверхпроводников со структурой  $A-15^{[9]}$ , деградация  $T_c$  в них связана с размытием пика  $N(E)$  вблизи энергии Ферми, что согласуется с независимыми измерениями  $N(E)$  в облученных образцах  $Nb_3Sn$ ,  $V_3Si$  и других.

С другой стороны, при очень больших дозах в условиях сильного разупорядочения деградация  $T_c$  может быть обусловлена андерсоновской локализацией [10], что, по-видимому, имеет место в облученных фазах Шенбурля [11,12].

Если к новым ВТСП применима обычная теория БКШ с сильной связью, то падение  $T_c$  при больших дозах может быть обусловлено эффективным увеличением кулоновского псевдопотенциала  $\mu^*$ . Однако если ВТСП представляют собой сверхтекучий заряженный бозе-газ малых биополюронов [13], то деградация  $T_c$  может быть связана с увеличением эффективной массы биополюронов.

Спонтанная рекомбинация первично выбитых атомов, связанная с наличием термически активируемых разупорядоченных областей

и зон неустойчивости в кристаллах с диэлектрической прослойкой, позволяет использовать дозовые зависимости критических параметров<sup>14/</sup> вместо широко распространенных зависимостей от  $C_d$  - числа смещений на атом.

Авторы выражают благодарность В.Л.Аксенову, А.Д.Коваленко, Ю.К.Пилипенко, И.Н.Семенюшкину, Е.А.Крамер-Агееву, В.И.Иванову за внимание к работе; Б.В.Васильеву, О.Г.Замолодчикову, И.К.Крылову, А.Н.Борзяку за предоставление образцов керамики, а также Б.Д.Зельдичу, В.Д.Кузнецову, В.П.Зорину, А.Ф.Новгородову, И.Величкову, А.Зелинскому, Р.Мисиаку за помощь при облучении образцов и измерениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наскидашвилли И.А. - Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1981, вып.4/18/, с.19.
2. Kupfer H. et al. Institut für Technische Physik, Postfach-3640, D-7500, Karlsruhe, FRG, 1987.
3. Umezawa A. et al. - Phys. Rev. B, v.36, No.13, 1987, p.7151.
4. Egnér B. et al. - In: Int. Conf. on Low Temp. Physics, LT18 Ag.20-26, Kyoto, Japan, 1987, v.III, p.568.
5. Антоненко С.З. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т.46, вып.9, с.362.
6. Астапов А.А. и др. Сообщение ОИЯИ 14-88-57, Дубна, 1988.
7. Коптелов Э.А., Стависский Ю.А. Препринт ИЯИ, П-0053, М., 1977.
8. Snead C.L. - Bull. Amer. Phys. Soc., v.21, 1976, p.295.
9. Александров А.С. и др. - ФТТ, 1979, т.21, №7, с.2062.
10. Булаевский П.Н., Садовский М.В. - Письма в ЖЭТФ, 1984, т.39, с.524.
11. Давыдов С.А. и др. - ФММ, 1983, т.65, с.931.
12. Алексеевский Н.Г. и др. - ЖЭТФ, 1983, т.85, с.1092.
13. Александров А.С. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т.46, приложение, с.128.
14. Зайцев Л.Н. Радиационные эффекты в структурах ускорителей. М.: Энергоатомиздат, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июня 1988 года.

Александров А.С. и др.  
Влияние излучений высокой энергии на критические параметры керамики  $YBa_2Cu_3O_7$

P14-88-571

Измерены критические параметры  $T_0$  и  $J_0$  сверхпроводящей керамики  $YBa_2Cu_3O_7$  после облучения при 300 К протонами 0,66, 8,09 ГэВ и ядрами  $^{12}C$  - 3,65 ГэВ/нуклон. Максимальная доза облучения  $3 \cdot 10^8$  Дж/кг /Гр/. Сильная радиационная деградация  $T_0$  и  $J_0$  объяснена спонтанной рекомбинацией точечных дефектов в зонах смещения, связанной с наличием термически активируемых разупорядоченных областей, приводящих к локализации электронов и нарушению джозефсоновских контактов между гранулами керамики. Результаты измерения  $T_0(D)$  и  $J_0(D)$  сравниваются с аналогичными зависимостями для нейтронов реакторного спектра ( $E > 0,1$  МэВ) и ионов  $^4He$  ( $E_0 = 6,7$  МэВ). Полученные экспериментальные результаты могут способствовать пониманию механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

#### Перевод авторов

Alexandrov A.S. et al.  
Influence of High Energy Radiation on Critical Parameters of Superconducting Ceramics  $YBa_2Cu_3O_7$

P14-88-571

Critical parameters  $T_0$  and  $J_0$  of superconducting ceramics  $YBa_2Cu_3O_7$  have been measured after irradiation at 300 K by 0.66, 8.09 GeV protons and by  $^{12}C$  nuclei with 3.65 GeV/nucleon energy. Maximum irradiation dose was  $3 \cdot 10^8$  J/kg (Gy). Strong radiation degradation of  $T_0$  and  $J_0$  was explained by spontaneous recombination of point defects in displacement zones, connected with availability of thermally activating unregulated regions, which lead to electron localization and infringement of Josephson contacts between ceramics grains. Results of  $T_0(D)$  and  $J_0(D)$  measurement are compared with analogous dependences for reactor spectrum neutrons ( $E > 0.1$  MeV) and ions  $^4He$  ( $E_0 = 6.7$  MeV). The obtained experimental results can favor the understanding of mechanism of higher temperature superconductivity.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988