

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

9-84-432

В.И.Дацков, Л.Н.Зайцев\*, С.В.Мунтян\*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
КРИОГЕННЫХ ТЕРМОДАТЧИКОВ-ДОЗИМЕТРОВ  
НА ПУЧКЕ СИНХРОФАЗОТРОНА

---

\* Московский инженерно-физический институт

1984

1. В работе<sup>/1/</sup> приведены результаты измерений инерционных характеристик термометров сопротивления при нагревании их импульсами тока. На основе этих измерений с учетом требований дозиметрии импульсного излучения нами изготовлены специальные термометры-дозиметры.

Медно-никелевый датчик /МНД/ представляет собой пятислойную плотную обмотку с внутренним диаметром 7 мм и длиной 9 мм из медно-никелевой проволоки<sup>/2/</sup> диаметром 35 мкм с межвитковой изоляцией из фторопласта толщиной 5 мкм. Сверху обмотка изолирована специальной бумажной лентой толщиной 0,2 мм.

Медный калориметрический датчик /МКД/ состоит из двух медных /одинаковых и соосных/ цилиндров длиной по 3 мм и диаметром 2,5 мм каждый, между которыми впаян диск толщиной 0,2 мм, вырезанный из термометра сопротивления Аллен-Брэдли /США/. Электрические выводы припаяны к торцам медных цилиндров. Отношение массы термочувствительного объема к массе меди 1:25.

В настоящей работе излагаются результаты исследований характеристик данных термодатчиков-дозиметров при облучении на пучке синхрофазотрона ОИЯИ. Для сравнения одновременно измерялись также характеристики термометров сопротивления из серийных резисторов типа Аллен-Брэдли и ТВ0-0,125 /СССР/<sup>/3/</sup>.

2. Облучение датчиков проводилось при температурах  $T_0 = 4,3 - 4,6$  К пучками дейтонов и протонов с энергией 7,31 ГэВ и 2,55 ГэВ. Длительности импульсов составляли 6 мс и 350 мс.

Геометрия эксперимента показана на рис.1а. Криостат /КР/ предварительно юстировался относительно оси пучка с помощью рентгеновских пленок /Ф/. Во время измерений положения центра пучка и двумерное распределение в нем заряженных частиц контролировались многопроволочной ионизационной камерой /ПИК/. Абсолютное число частиц в пучке за импульс измерялось плоскопараллельной ионизационной камерой /ИК/. Временная структура импульсов частиц определялась сцинтилляционным детектором /СД/.

Откалиброванные по теплоемкости и температуре датчики размещены в нижней части криостата на оси пучка, как показано в сечении А-А на рис.1б. Максимальная ошибка в определении относительного положения датчиков и центра пучка составляет  $\pm 1$  мм, что приводит к погрешности определения флюенса частиц, прошедших через датчик, равной  $\sim 8\%$ . Погрешность ИК оценена в  $\sim 7\%$ . Таким образом, общая погрешность в определении флюенса  $\sim 11\%$ .



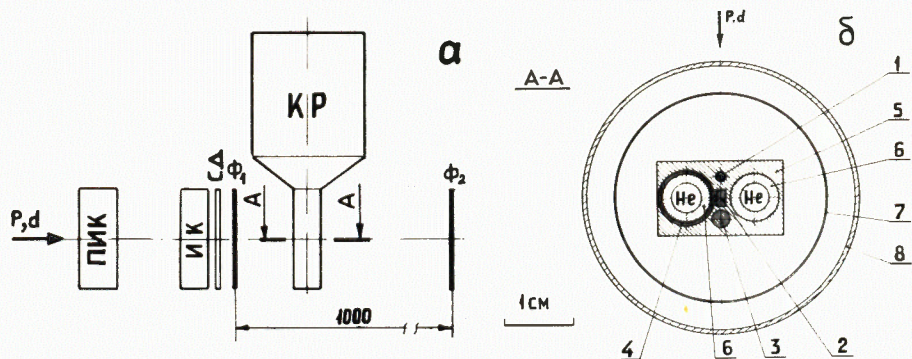
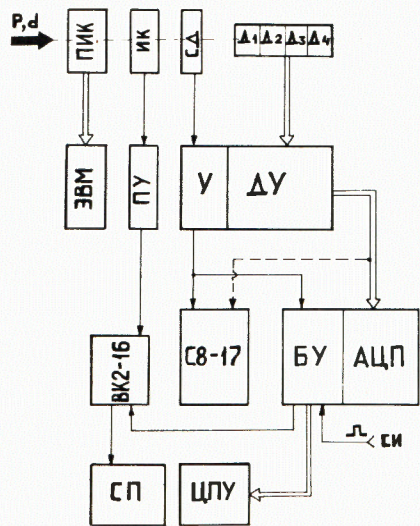


Рис.1. Схема измерений /а/ и компоновка датчиков /б/: 1 - Аллен-Бредли; 2 - ТВО; 3 - МКД; 4 - МНД; 5 - эпоксидный компаунд; 6 - трубки криостата; 7 - азотный экран; 8 - оболочка криостата.

3. Блок-схема установки показана на рис.2. Исследуемые термодатчики-дозиметры /Д/ включены в мосты постоянного тока. Датчики нагревались при прохождении через них импульса частиц, что вызвало разбаланс уравновешенных мостов. Сигналы разбаланса усиливались дифференциальными усилителями постоянного тока /ДУ/ и поступали на аналого-цифровые преобразователи /АЦП/. Максимальная температура радиационного разогрева регистрировалась на цифropечатающем устройстве /ЦПУ/.

Сигнал со сцинтилляционного детектора подавался на усилитель /У/ и затем регистрировался на двухлучевом запоминающем осциллографе С8-17. На тот же осциллограф поочередно выводились сигналы с датчиков.



Информация с ионизационной камеры после усиления сигналов предварительным усилителем /ПУ/ и усилителем ВК2-16 выводилась на самописец /СП/. Работа системы синхронизировалась при помощи блоков управления /БУ/ импульсами со сцинтиллятора и электрическими синхроимпульсами ускорителя /СИ/.

Рис.2. Блок-схема измерительной аппаратуры.

4. Анализ формы отклика датчиков на короткий /~ 6 мс/ импульс частиц /рис.3/ показал, что максимальная температура датчика достигается в конце импульса излучения, а остывание датчика происходит по экспоненциальному закону с двумя постоянными времени  $\tau_D$  и  $\tau_C$ .

Постоянная  $\tau_D$  характеризует установление квазиравновесной температуры по отношению к окружающей среде, в нашем случае - к эпоксидному компаунду; постоянная  $\tau_C$  характеризует остывание всей сборки в целом. Величины  $\tau_D = 30 \div 60$  мс, а значения  $\tau_C$  находятся в пределах  $200 \div 300$  мс в зависимости от типа датчика и степени его нагрева. Это говорит о существовании адиабатических условий, так как  $t_{и} \ll \tau_D < \tau_C$ . Зависимость радиационного перегрева  $\Delta T$  от флюенса показана на рис.4.

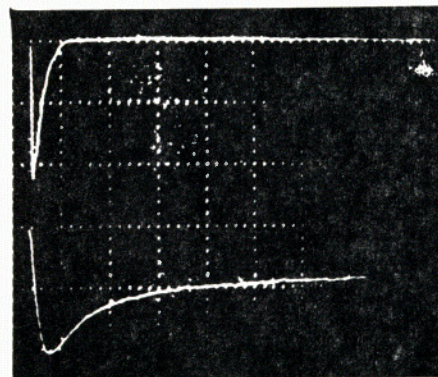


Рис.3. Осциллограмма импульсов от пучка протонов длительностью бмс:вверху - импульс с датчика СД; внизу - импульс с датчика МКД.

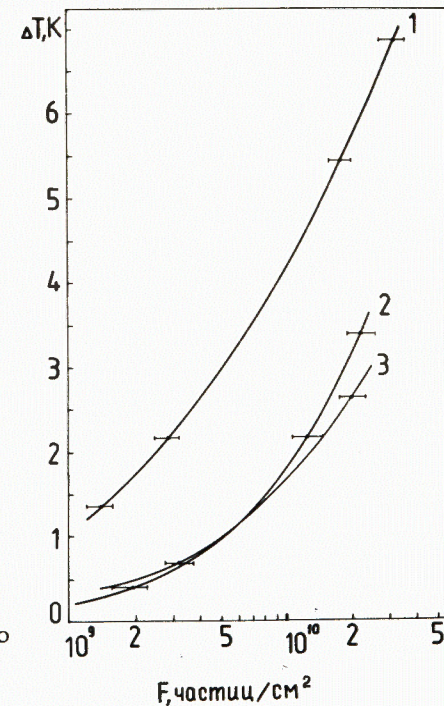


Рис.4. Зависимость максимального перегрева от флюенса дейтронов: 1 - ТВО, 2 - МНД, 3 - Ал-Бр.

5. Энерговыведение /доза/ в датчиках вычислялось по известному соотношению для адиабатических условий:

$$W_{(F)} = \int_{T_0}^{T(F)} C_{(T)} dT, \quad (1)$$

где  $T_0$  - начальная температура датчиков;  $T(F)$  - температура датчика при прохождении через него флюенса  $F$ ;  $C(T)$  - теплоемкость датчика.

Таблица

Коэффициент теплоемкости и перехода от флюенса к дозе.

Датчик	R 290K Масса	C (T) = AT <sup>3</sup> + BT, Дж/К		K, Дж.см <sup>2</sup> /част. ±16%	
		A	B	E = 7,3ПэВ	E <sub>p</sub> = 2,55 ГэВ
МКД	$\frac{16 \text{ Ом}}{0,250 \text{ г}}$	$4,46 \cdot 10^{-7}$	$7,59 \cdot 10^{-6}$	-	$6,5 \cdot 10^{-14}$
МНД	$\frac{2170 \text{ Ом}}{0,104 \text{ г}}$	$1,86 \cdot 10^{-7}$	$2,34 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-14}$	$2,9 \cdot 10^{-14}$
ТВО-0,125	$\frac{1000 \text{ Ом}}{0,080 \text{ г}}$	$2,06 \cdot 10^{-7}$	0	$2,4 \cdot 10^{-14}$	$2,2 \cdot 10^{-14}$
Аллен-Бредли	$\frac{100 \text{ Ом}}{0,025 \text{ г}}$	$1,62 \cdot 10^{-7}$	$6,80 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-15}$	$7,2 \cdot 10^{-15}$

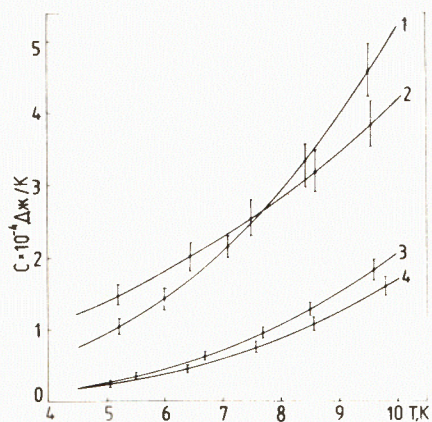


Рис.5. Зависимость теплоемкости датчиков от температуры: 1 - МНД, 2 - МНД, 3 - ТВО, 4 - Ал.Бр.

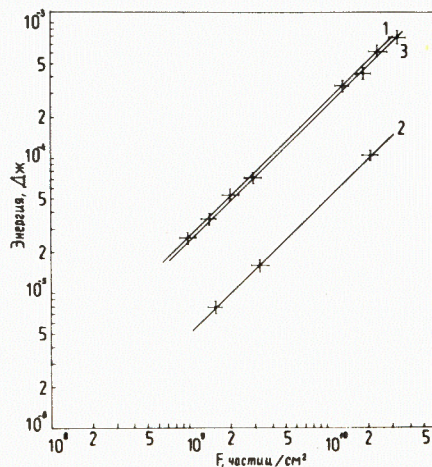


Рис.6. Зависимость энерговыделения в датчиках от флюенса дейтонов: 1 - МНД, 2 - Ал.Бр., 3 - ТВО.

Теплоемкость МНД определялась методом, описанным в работе <sup>4/</sup>, а теплоемкость других трех датчиков была измерена с помощью методики термической релаксации, принцип которой изложен в <sup>5/</sup>. На рис.5 показаны измеренные нами зависимости теплоемкости от температуры. Они удовлетворительно описываются выражением  $C(T) = AT^3 + BT$  (Дж/К) в диапазоне от 4,2 до 10 К. Величины коэффициентов А и В, а также коэффициентов К перехода от флюенса к дозе

приведены в таблице. Соотношение энерговыделение - флюенс представлено на рис.6.

6. В работе <sup>6/</sup> отмечается, что определение энерговыделения в изотермических условиях /при длинном импульсе/ представляет собой трудную задачу. Это видно из осциллограммы отклика МКД на импульс протонов длительностью 350 мс /рис.7/. Однако для короткого интервала времени  $\Delta t = (t_i - t_{i-1})$ , при котором можно принять линейное изменение от времени температуры Т датчика МКД и температуры Т' окружающей его среды /эпоксидного компаунда/, из выражения, описывающего тепловой баланс в калориметре, получаем формулу

$$(T_i - T_{i-1}) = \Delta T_{ai} - \frac{(t_i - t_{i-1})}{\tau_d \cdot 2} [(T_i + T_{i-1}) - (T'_i + T'_{i-1})], \quad /2/$$

где  $T_i$  и  $T_{i-1}$  - температуры датчика в соответствующие моменты времени  $t_i$  и  $t_{i-1}$ ;  $T'_i$  и  $T'_{i-1}$  - температура среды во время  $t_i$  и  $t_{i-1}$ ;  $\tau_d$  - постоянная датчика;  $\Delta T_{ai}$  - адиабатический перегрев датчика за  $\Delta t$ .

Вследствие различных энерговыделений в материалах и наличия теплоемкостей температуры датчика и среды во время прохождения импульса частиц будут отличаться друг от друга, так что  $T' = k_{(t)} \cdot T$ . В этом случае выражение /2/ можно преобразовать к виду

$$\Delta T_{ai} = (T_i - T_{i-1}) + \frac{(1 - k_{(t)})}{2} \cdot \frac{\Delta t}{\tau_d} (T_i + T_{i-1}). \quad /3/$$

Величина  $k_{(t=0)}$  для адиабатического нагревания коротким импульсом легко находится из рис.3 по постоянным релаксации температуры датчика и среды. Оценки показывают, что  $k_{(t)}$  для характерных временных интервалов  $\sim 20$  мс - период пульсации флюенса/изменяется не более, чем на 15%.

Для упрощения оценки энерговыделения в МКД от длинного импульса протонов флюенс подбирался таким образом, чтобы максимальная

величина  $\Delta T$  не превосходила 0,3 К, тогда теплоемкости датчика и среды и их релаксационные постоянные приблизительно можно считать не зависящими от температуры. Величина  $k = 1,85$  постоянна в пределах указанной

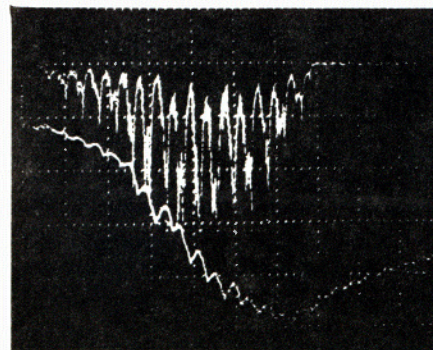


Рис.7. Осциллограмма импульсов от пучка протонов длительностью 350 мс: вверху - импульс с СД; внизу - импульс с МКД.

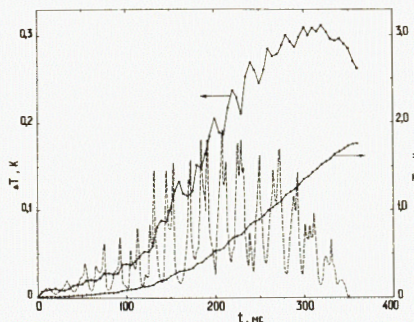


Рис.8. Временное распределение перегрева МКД при  $t_i = 350$  мс: --- форма импульса с СД; -o- перегрев МКД, аппроксимированный кусочно-линейными функциями; ●- перегрев МКД, приведенный к адиабатическим условиям.

погрешности. Интервал времени  $\Delta t$  составляет 5 мс. По измеренным значениям  $T_i$  для каждого интервала  $\Delta t$  вычислялось значение  $\Delta T_{ai}$  и определялось временное распределение перегрева датчика  $\Delta T_{a(t)}$ , приведенное к адиабатическим условиям /рис.8/. Максимальный адиабатический перегрев, равный 1,73 К, достигался в конце импульса излучения. Найденное по формуле /1/  $W_{МКД} = 2,0 \cdot 10^{-4}$  Дж, что соответствует  $F = 4,1 \cdot 10^9$  прот./см<sup>2</sup>, измеренному с помощью ИК. Коэффициент перехода от флюенса к дозе равен  $4,8 \cdot 10^{-14}$  Дж см<sup>2</sup>/прот., что на 17% отличается от расчетного и на 26% от коэффициента, измеренного при облучении МКД коротким импульсом протонов.

Результаты исследований перегрева термодатчиков-дозиметров при облучении пучками частиц показали возможность определения как флюенса падающих на них частиц, так и энерговыделения с удовлетворительной погрешностью. Это обстоятельство позволяет рекомендовать датчики в автоматизированных системах контроля потерь частиц, что имеет важное значение для оптимальной настройки и безаварийной эксплуатации сверхпроводящих ускорителей высоких энергий.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Иванову, Ю.А.Шишову и Е.Д.Клещенко за полезные советы и проявленный интерес к работе, а также Б.Д.Зельдичу, В.И.Смирнову, М.П.Беляковой, А.П.Крячко, В.В.Пискалеву за помощь в проведении экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 8-83-45, Дубна, 1983.
2. Черенков В.А. ПТЭ, 1980, № 6, с.191.
3. Дацков В.И. ОИЯИ, 8-83-717, Дубна, 1983.
4. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 8-83-878, Дубна, 1983.
5. Vachmann R. et al. Rev.Sci.Instrum.43, 1972, No.2, с.205-214.
6. Васильев П.Г. и др. ОИЯИ, Р8-83-159, Дубна, 1983./Васильев П.Г.и др. Вопросы атомной науки и техники; общая и ядерная физика, 1983, вып.1/22/, 1-97, с.44-50/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 июня 1984 года

Дацков В.И., Зайцев Л.Н., Мунтян С.В.  
Результаты измерения характеристик криогенных  
термодатчиков-дозиметров на пучке синхрофазотрона

9-84-432

Целью работы является разработка криогенных термодатчиков-дозиметров и методики измерений. В основе методики измерений лежит радиационный разогрев датчиков. Описаны экспериментальная установка и конструкции датчиков, охлаждаемых жидким гелием. Эксперимент проводился на пучках протонов с  $E=2,55$  ГэВ и дейтронов-7,31 ГэВ, при длительности импульсов 6 мс и 350 мс. Получены зависимости максимальных перегревов /до 7 К/ датчиков от флюенса частиц. Определены коэффициенты перехода от флюенса частиц к энерговыделениям для каждого датчика. На пучке дейтронов с энергией 7,31 ГэВ они равняются: для медно-никелевого датчика  $K = 2,6 \cdot 10^{-14}$  Дж·см<sup>2</sup>/част.; для датчика на основе резистора TVO  $K = 2,4 \cdot 10^{-14}$  Дж·см<sup>2</sup>/част.; для датчика на основе резистора фирмы Аллен-Брэдли /США/  $K = 4,7 \cdot 10^{-15}$  Дж·см<sup>2</sup>/част.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Datskov V.I., Zaitsev L.N., Muntian S.V.  
The Results of Measuring Characteristics of Cryogenic  
Thermometers-Dosimeters on a Synchrophasotron Beam

9-84-432

Cryogenic, thermometers-dosimeters and measurement methods based on radiation heating of thermometers were developed. The experimental installation and construction of detectors cooled in liquid helium is described. The experiment was performed on 2.55 GeV proton and 7.31 GeV deuteron beams at 6 ms and 350 ms pulse duration. The dependences of maximum heatings/up to 7 K/ of thermometers from particle fluence are obtained. Coefficients of transition from particle fluence to radiation heating for each thermometer are determined. For 7.31 GeV deuteron beam the coefficients are as follows: for copper-nickel thermometers  $K = 2.6 \cdot 10^{-14}$  J·cm<sup>2</sup>/part; for resistance temperature sensors TVO  $K = 2.4 \cdot 10^{-14}$  J·cm<sup>2</sup>/part; for resistance temperature sensors "Allen-Bradley" /USA/  $K = 4.7 \cdot 10^{-15}$  J·cm<sup>2</sup>/part.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984