

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна**

16-84-677

**В.И. Дацков, Л.Н. Зайцев,¹ С.В. Мунтян,¹
А.Е. Сырейщиков,¹ В.Б. Хвостов²**

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ
В ЭЛЕМЕНТАХ МАГНИТОВ УСКОРИТЕЛЕЙ
С ПОМОЩЬЮ КРИОГЕННЫХ
КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ДОЗИМЕТРОВ**

¹ Московский инженерно-физический институт

² Институт медико-биологических проблем, Москва

1984

1. В связи с разработкой и созданием сверхпроводящих ускорителей возникает необходимость определения поглощенной энергии /дозы/ от потерь пучка в конструкционных элементах ускорителя, находящихся в переменных магнитных полях и при температуре жидкого гелия $\sim 4,2 \text{ K}^{1/}$. В литературе отсутствуют данные о методах измерения поглощенной энергии и датчиках, которые могли бы быть использованы при таких условиях.

В настоящей работе приводится описание методики определения дозы в материалах обмоток сверхпроводящих магнитов, находящихся в полях высокоэнергетического излучения. С помощью предложенного криогенного квазиadiaбатического калориметра измерены распределения поглощенной энергии в макете железного ядра магнита "Нуکلотрона". Результаты измерений сравниваются с расчетными данными.

2. Квазиadiaбатический калориметр состоит из медного поглотителя и миниатюрного угольного термометра сопротивления ^{2/}. Выбор меди в качестве поглотителя обусловлен тем, что величины доз в меди, железе и технических сверхпроводниках /~50% меди, ~25% ниобия и ~25% титана по весу/ практически совпадают. Однако дозы в материалах поглотителя и термометра могут отличаться друг от друга вследствие различия тормозных способностей этих материалов, а также характеристик ядерного взаимодействия излучения с медью и углеродом ^{3/}.

При работе калориметра исходной величиной для определения дозы является изменение температуры его поглотителя ΔT_{II} под действием излучения, которое регистрируется с помощью термометра. Но из-за различных значений теплоемкостей и доз в поглотителе и термометре, а также конечного по величине коэффициента теплопередачи между ними, радиационные перегревы поглотителя ΔT_{II} и термометра ΔT_T будут отличаться друг от друга. На рис.1 показана рассчитанная зависимость ΔT_T от длительности $t_{и}$ прямоугольного во времени импульса излучения, выраженная в относительных единицах, при различных соотношениях мощностей доз в термометре и поглотителе. Величины теплофизических параметров, принятых в расчетах: отношение теплоемкостей термометра /углерод/ и поглотителя /медь/ C_T/C_{II} , постоянные релаксации температуры поглотителя τ_{II} и термометра τ_T , близки к экспериментальным. При расчетах не учитывалась зависимость C_T/C_{II} от температуры, так как это отношение мало изменяется в измеряемом диапазоне температур. /Измерение теплоемкостей материалов поглотителя и термометра было выполнено с помощью метода термической релаксации ^{4/}. Анализ зависимостей, представленных на рис.1,

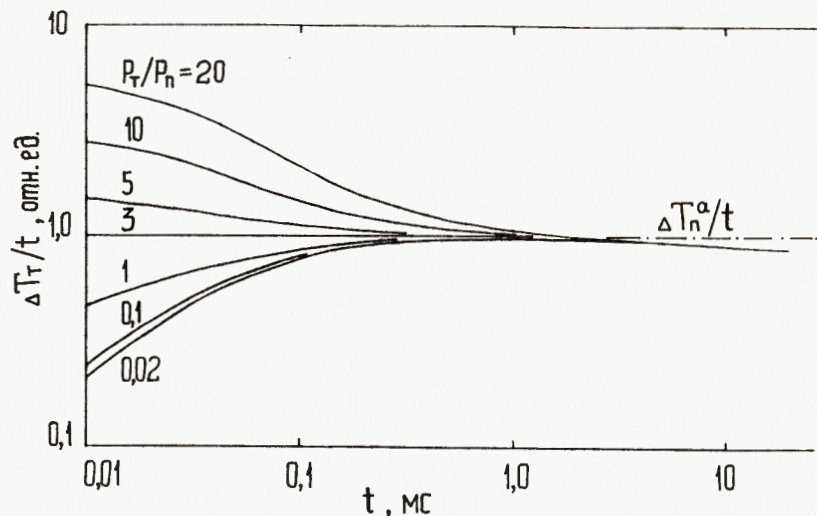


Рис.1. Зависимость перегрева термометра медного калориметрического дозиметра /МКД/ от времени облучения при $\tau_T = 20$ мкс, $\tau_n = 50$ мс, $C_T/C_n = 3$; - - - - - перегрев медного поглотителя при адиабатических условиях.

показывает, что при условии $\tau_T \ll t_i \ll \tau_n$ в диапазоне длительностей импульсов излучения от сотен микросекунд до ~20 миллисекунд ΔT_T с точностью ~10% совпадает с перегревом поглотителя при адиабатических условиях ΔT_n^a , даже если мощности доз в поглотителе и термометре отличаются более чем на порядок. В этом случае доза в поглотителе за импульс определяется

соотношением $D = \int_{T_0}^{T_T} C_n(T) dT$, где T_0 - начальная температура калориметра, T_T - температура термометра в конце облучения, $C_n(T)$ - теплоемкость поглотителя. К аналогичному результату можно прийти, если рассматривать и произвольную во времени форму импульса в указанном диапазоне длительностей.

3. Проверка приведенной методики осуществлялась в измерениях дозы за железным барьером толщины d при нормальном гашении в нем пучка дейтронов 7,31 ГэВ с длительностью импульса $t_i = 6$ мс; схема установки показана на рис.2. Кроме названного медного калориметрического датчика /МКД/ для проверки возможности применения в качестве дозиметров использовались также другие калориметрические датчики: на основе угольных резисторов Аллен-Бредли /США/, резисторов ТВО /СССР/, и датчик, изготовленный из специальной термометрической медно-никелевой

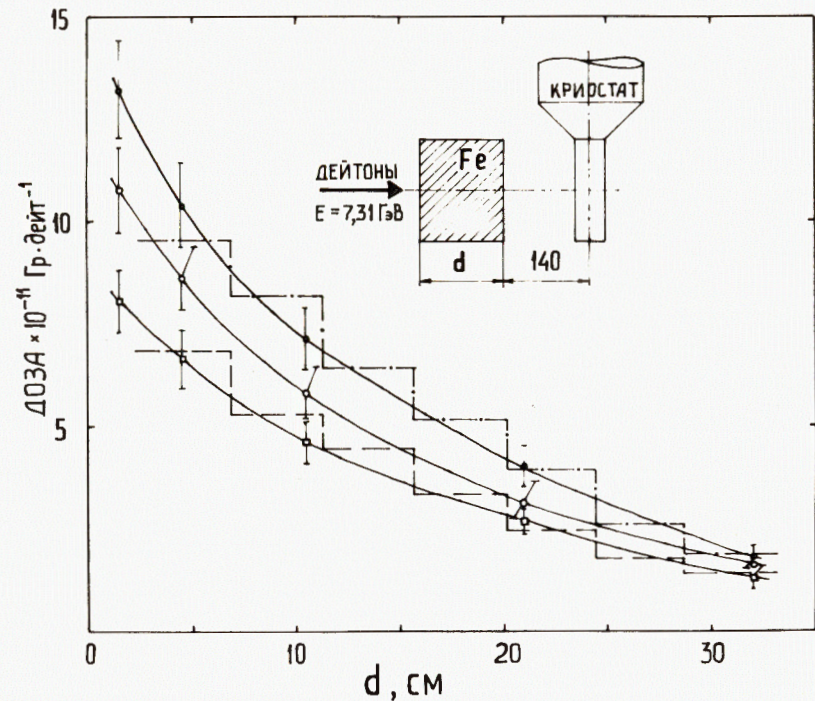


Рис.2. Зависимость дозы от толщины железного барьера при облучении его пучком дейтронов 7,31 ГэВ.

○ - Аллен Бредли } — · — расчет /5,6/ ,
 ● - ТВО }
 □ - МНД } - - - - - расчет /5,6/ .

проволоки /МНД/, поглотителем для которых является их термочувствительный объем. Для выполнения адиабатических условий ($\tau_n \gg t_i$) все датчики заключались в тонкую фторопластовую теплоизоляционную оболочку. Описание характеристик датчиков, компоновки их в криостате, а также принцип работы экспериментальной установки приведены в работах /2,7/.

На рис.2 представлены пространственные распределения доз за железным барьером, измеренных этими датчиками. Пунктиром показаны расчетные значения для датчиков ТВО и Аллен-Бредли, стоящих на оси пучка, и для медно-никелевого датчика /МНД/, смещенного относительно этой оси на 0,5 см в радиальном направлении. Диаметр пучка в эксперименте составлял ~1,5 см. С увеличением толщины барьера поле излучения становится более равномерным по радиусу и при больших толщинах d величины доз практически совпадают друг с другом. При проведении расчетных оценок пространственного распределения энерговыделения использована программа, разработанная в Лаборатории вычислительной

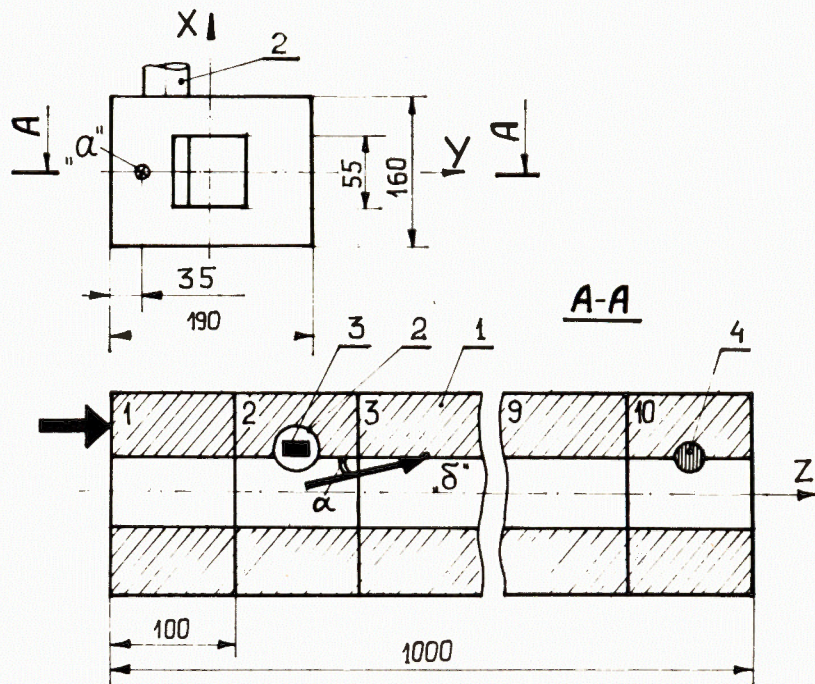


Рис.3. Схема экспериментальной установки.

техники и автоматизации ОИЯИ ^{5,6/}. Как видно из рис.2, наблюдается хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных, свидетельствующих о работоспособности программы.

4. Сборка названных калориметрических датчиков была применена для измерения пространственного распределения поглощенной дозы в модели сверхпроводящего магнита при гашении пучка протонов с энергией 2,55 ГэВ и длительностью импульса $t_{и} = 6$ мс в торце и на внутренней поверхности /имитация распределенных потерь/. Распределение протонов в пучке близко к нормальному с $\sigma_x = 0,32$ и $\sigma_y = 0,6$ см.

Геометрия эксперимента показана на рис.3. Макет магнита с габаритами 190x160x1000 м³ состоит из 10 секций 1 длиной по 100 мм. Облучаемая насадка криостата 2 со сборкой калориметрических дозиметров 3 вставлялась в специальное гнездо секции. В такое же гнездо устанавливалась наперстковая ионизационная камера ^{8/} 4, используемая для дополнительного контроля дозы. Перестановка секций с гнездами для криостата и наперстковой камеры позволяла изменять их положение по оси Z.

Калибровка наперстковой ионизационной камеры в абсолютных единицах дозы проводилась по показаниям термолюминесцентных

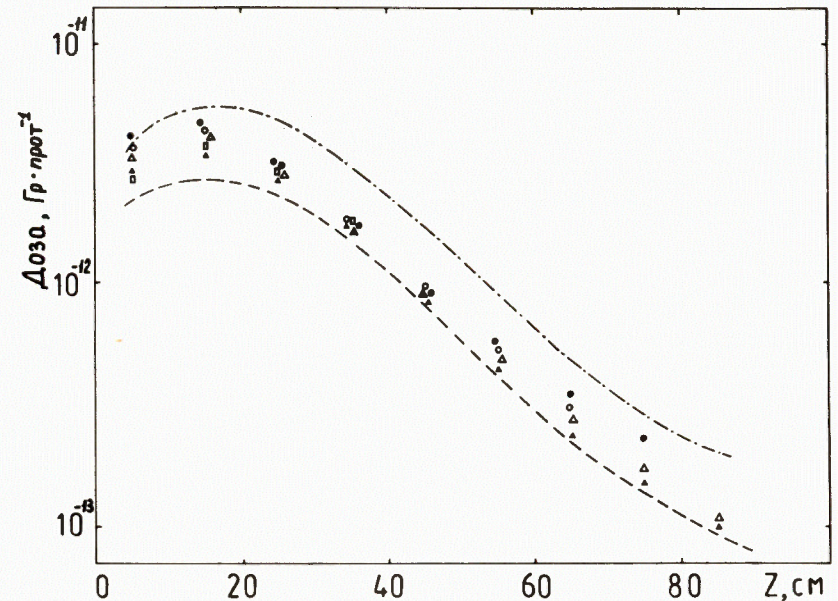


Рис.4. Распределение дозы при гашении пучка протонов в торце магнита /точка "а"/: Δ - МКД; \square - МНД; \bullet - ТВО; \circ - Аллен-Бредли; \blacktriangle - наперстковая ионизационная камера; - - - - расчет по ^{9/}; - · - · - расчет по ^{5,6/}.

стекло, предварительно откалиброванных в пучке протонов с помощью образцовой плоскопараллельной ионизационной камеры и углеродного порогового детектора. Точка калибровки показана на рис.5.

При гашении пучка протонов в торце железного яра модели магнита с центром в точке "а", как показано на рис.3, в веществе развивался межъядерный каскад и создавалось смешанное поле излучения. Результаты измеренного распределения поглощенной энергии вдоль оси Z в этой геометрии, полученные с помощью калориметрических дозиметров, наперстковой камеры, и расчеты, произведенные по апробированной в других экспериментах программе "Magnet" ^{9/} и программе ^{5,6/}, приведены на рис.4.

На рис.5 показано распределение дозы при облучении модели магнита под углом $\alpha = 33$ мрад при гашении пучка протонов с центром в точке "б" /рис.2/ в случае имитации распределенных потерь.

Как показывают расчетные оценки, пространственное распределение поглощенной энергии для рассматриваемых случаев неравномерно при малых значениях Z и обладает значительным градиентом в радиальном направлении. Поэтому сопоставление показаний детекторов не является корректным /- фактор 2 в пределах разме-

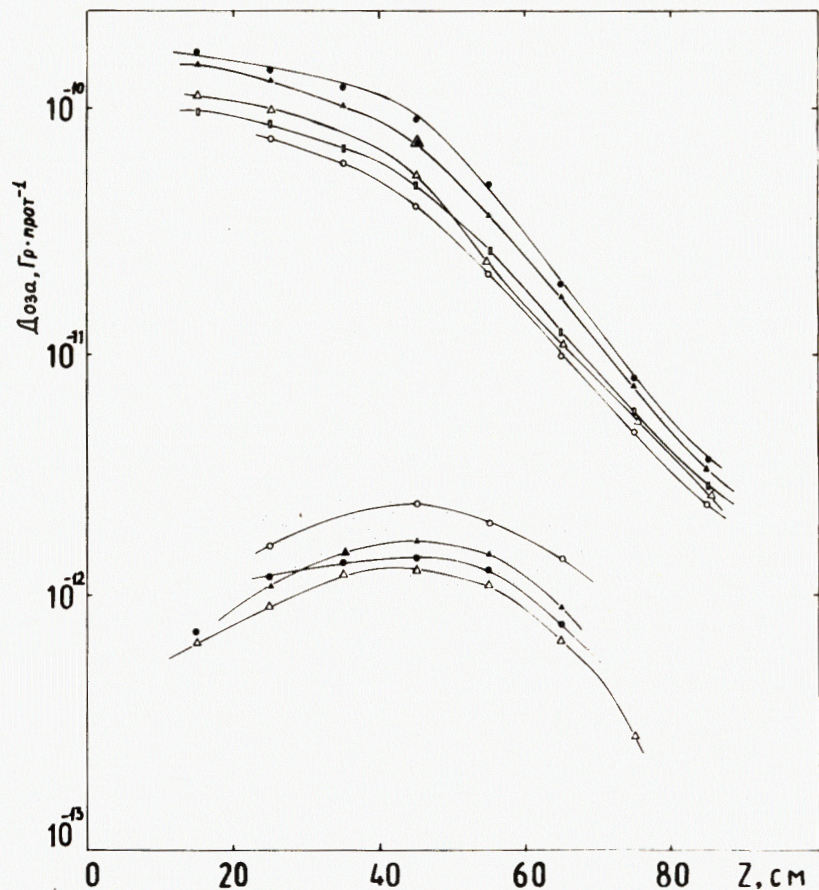


Рис.5. Распределение дозы при гашении пучка протонов с осью в точке "б" под углом $\alpha = 33$ мрад; вблизи поверхности высадки протонов - верхние кривые; вблизи противоположной поверхности - нижние кривые /обозначения как на рис.4/.

ров сборки/. По мере увеличения Z /см.рис.4/, как и в эксперименте на дейтонах, неравномерность поля по радиусу уменьшается, что приводит к хорошей сопоставимости показаний различных дозиметров и удовлетворительному согласию с расчетными величинами.

5. Медный калориметрический дозиметр и медно-никелевый дозиметр по сравнению с остальными дозиметрами обладают теми преимуществами, что измеряют поглощенную дозу в материалах, близких к материалам технических сверхпроводников. Из всех рас-

смотренных дозиметров МКД имеет лучшую чувствительность по дозе, в то время как МНД обладает малой чувствительностью и значительным магниторезистивным эффектом, что сужает область применения. Что касается интерпретации величин, измеряемых дозиметрами на основе резисторов Аллен-Бредли и ТВО в качестве поглощенной дозы в сверхпроводящих обмотках, то следует иметь в виду некоторые различия в процессах формирования дозы в материалах этих дозиметров и обмотки.

Важно отметить, что небольшие размеры дозиметров /а не всей сборки в целом/ позволяют применять их для случаев измерения потерь, при этом для правильной интерпретации их показаний необходимо обеспечить хорошую радиальную юстировку дозиметров. Разработанная методика и калориметрические дозиметры могут использоваться в системах контроля дозы в сверхпроводящих обмотках и контроля температуры при отсутствии излучения.

Авторы выражают благодарность С.В.Барашенкову, В.И.Иванову, Ю.А.Шишову за проявленный интерес к работе, а также Б.Д.Зельдичу, Л.Г.Левчуку, А.Н.Соснину, В.И.Смирнову, М.П.Беляковой, В.Д.Бартеневу, А.П.Крячко и В.В.Пискалеву за помощь в проведении экспериментов и расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василев П.Г. и др. ОИЯИ, Р9-82-486, Дубна, 1982.
2. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 9-84-432, Дубна, 1984.
3. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействие частиц и ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
4. Bachmann R. et al. Rev.Sci.Instr., 1972, 43, No.2, с.205-214.
5. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, Р2-81-802, Дубна, 1981.
6. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, Р2-83-117, Дубна, 1983.
7. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 8-83-45, Дубна, 1983.
8. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, 16-12266, Дубна, 1979.
9. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, 16-12264, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 октября 1984 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.
Theoretical physics.
Experimental techniques and methods.
Accelerators.
Cryogenics.
Computing mathematics and methods.
Solid state physics. Liquids.
Theory of condensed matter.
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

JINR Rapid Communications will be issued regularly.



Дацков В.И. и др.

16-84-677

Измерение поглощенной энергии
в элементах магнитов ускорителей
с помощью криогенных калориметрических дозиметров

Приводится методика определения поглощенной энергии в элементах ускорителей, находящихся при гелиевых температурах $\sim 4,2$ К. С помощью предложенных квазиadiaбатических калориметров измерены распределения поглощенной энергии в макете железного ядра магнита при облучении его протонами 2,55 ГэВ. Для апробации программы расчетов распределения поглощенной энергии экспериментально получена ее зависимость от толщины железного барьера при облучении дейтонами 7,31 ГэВ. Результаты измерений сравниваются с расчетными данными. Рассмотренный медный калориметрический дозиметр рекомендуется для использования в системах автоматизированного контроля доз.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Datskov V.I. et al.

16-84-677

Measurement of Absorbed Energy
in Accelerator Magnet Elements
by Means of Cryogenic Calorimetric Dosimeters

The technique of measuring dose in accelerator elements by means of the cryogenic calorimetric dosimeters is elaborated. With a corresponding selection of the thermophysical dosimeter parameters during times of about particle pulse duration in an accelerator the dose measurement is provided with an accuracy upto $10 \div 15\%$. The experiments on 2.55 GeV proton and 7.31 deuteron beams with $6 \mu\text{s}$ pulse duration are described. The spatial dose distributions are obtained in considered magnet elements. Measurement results are compared with the calculation data.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984