

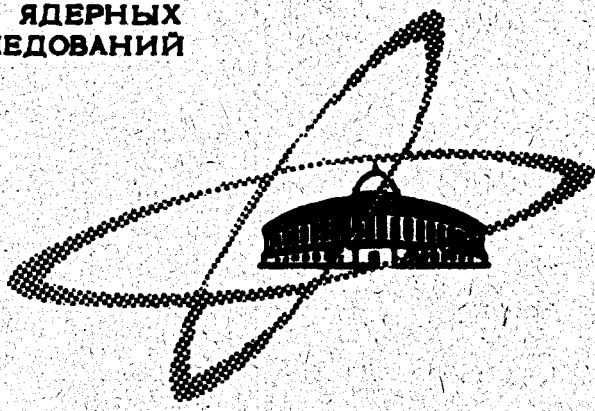
16/115 - 70

A-64

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 4913



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.Д. Ананьев, И.М. Матора

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ
РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ
В ТОЛСТЫХ МИШЕНЯХ ИЗ СВИНЦА
И ВОЛЬФРАМА

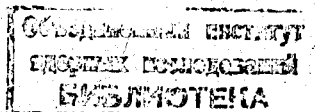
1970

Р9 - 4913

В.Д. Ананьев, И.М. Матора

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ
РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ
В ТОЛСТЫХ МИШЕНЯХ ИЗ СВИНЦА
И ВОЛЬФРАМА

Направлено в АЭ



В в е д е н и е

В последнее время сильноточные электронные ускорители широко применяются для генерации нейтронов в бомбардируемых релятивистскими электронами толстых мишенях. Средняя мощность пучка таких ускорителей уже достигает нескольких десятков киловатт и имеет тенденцию стремительно расти. Последнее обстоятельство чрезвычайно усложняет проблему организации эффективного теплоотвода с мишени, которая, как правило, имеет малый объем.

Как известно, преобразование электронов в нейтроны происходит через образующиеся в мишени тормозные γ -кванты, вызывающие в ней фотоядерные реакции (γ, n) , $(\gamma, 2n)$ и т.д., а также фотоделение, если мишень изготовлена из делящегося материала. Максимальный выход нейтронов, очевидно, может быть получен на тяжелых мишенях, так как интенсивность тормозного излучения пропорциональна NZ^2 , где N - ядерная плотность вещества, Z - заряд ядра мишени. С другой стороны, ионизационные потери, пропорциональные NZ , для этих мишеней максимальны и распределены в слое, толщина которого практически совпадает с длиной пробега электрона.

Для организации тепловода с мишени важно знать кривую распределения тепла по ее глубине.

Расчёты распределения тепловыделения, вызванного пучком релятивистских электронов, вдоль направления его распространения в толстой мишени при учёте многократного рассеяния и каскадных процессов показывают, что имеется резко выраженный максимум выделения тепла /1/. Надежных экспериментальных данных по этому вопросу нет.

В настоящей работе описаны эксперименты по определению распределения потерь энергии электронов с исходной энергией 22 и 28 Мэв для свинца и 23,2 и 27,6 Мэв - для вольфрама. Работа выполнена на микротроне ЛНФ ОИЯИ.

Схема опыта и методика измерения

Толстая свинцовая мишень имитировалась набором из 6 пластинок диаметром 50 мм и толщиной 1 мм ($E_0 = 28$ Мэв) и 2 мм ($E_0 = 22$ Мэв). Вольфрамовая мишень состояла из 9 пластинок диаметром 46 мм, из которых 4 диска имели толщину 1 мм, 3 диска - 2 мм и 2 диска - 3 мм. Зазор между пластинками составлял 2 мм. Каждая пластинка закреплялась на термозоляторе из стекла посредством двух держателей, имеющих также большое термическое сопротивление. Набор пластинок размещался в вакуумном объеме после цилиндра Фарадея, измерявшего ток электронов, выведенных из ускорителя. Плоские границы пластинок были расположены перпендикулярно падающему пучку электронов. Размеры пучка на первой пластинке 6 x 15 мм.

В каждой пластинке с тыльной стороны зачеканивались хромель-копелевые термопары диаметром 0,3 мм на расстоянии 10 мм от центра пластинки. Через зазор между пластинками концы термопар выводились на самописец.

Параметры пучка: E_0 - начальная энергия, I - ток в импульсе, T - длительность импульса определялись до опыта, после чего в течение некоторого времени Δr_0 производился нагрев мишени электронным пучком и измерялось изменение температуры пластинок $t_1(r)$ со временем. Все параметры пучка при этом поддерживались постоянными. После экспозиции проводился контрольный замер E_0 , I , T .

Для каждого слоя (пластинки) толстой мишени может быть получена следующая кривая зависимости изменения температуры от времени (см. рис. 1). Завал кривой нагрева объясняется наличием утечек тепла через держатели пластинки, проволоку терморпары и излучение. В случае "идеальной" термоизоляции пластинки рост t_1 во времени был бы линейен и тогда можно было бы записать:

$$\Delta Q_1 = c_p \Delta t_1^m M_1 = f_1 I T n E_0 \Delta r_0,$$

где ΔQ_1 - количество энергии, поглощенной в i пластинке, f_1 - доля энергии, поглощенной в i пластинке, c_p - теплоемкость вещества, Δt_1^m - подогрев в предположении отсутствия утечек тепла, M_1 - масса i пластинки, n - частота импульсов.

Отсюда следует, что определение величины

$$f_1 = \frac{c_p M_1}{I T n E_0} \cdot \frac{\Delta t_1^m}{\Delta r_0} = C \cdot \frac{\Delta t_1^m}{\Delta r_0}$$

сводится к определению производной в начальный момент времени у функции температуры i слоя от времени.

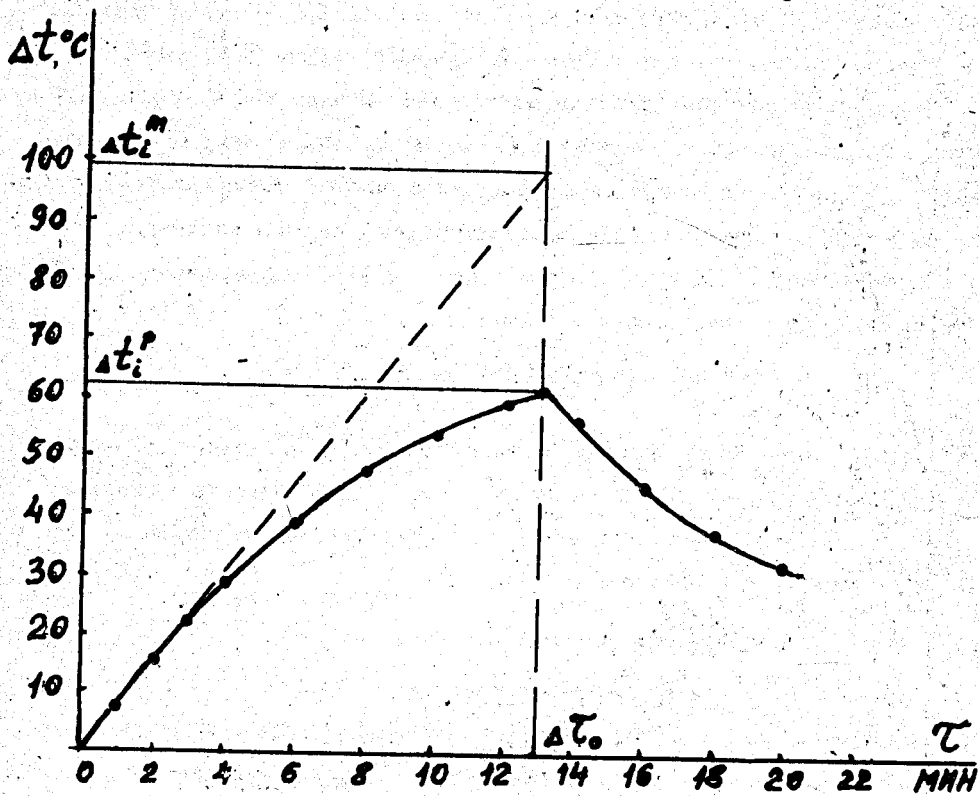


Рис. 1. Изменение температуры 1-й пластинки из свинца от времени при нагреве и охлаждении. Δt_1^p - реальный подогрев пластинки; Δt_1^m - подогрев в предположении отсутствия утечек тепла; $\Delta \tau_0$ - время нагрева мишени электронным пучком. Средняя мощность пучка 5,5 вт. Начальная энергия электронов 28 Мэв.

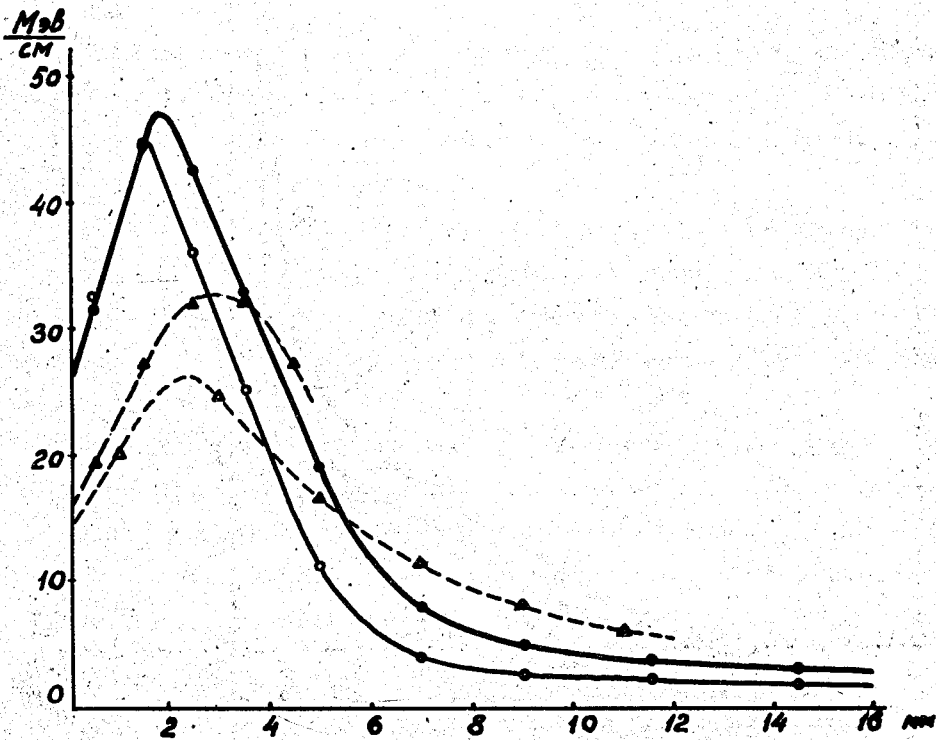


Рис. 2. Зависимость плотности тепловыделений от толщины мишени. Экспериментальные точки на кривых соответствуют:

- вольфрам ($E_0 = 27,6$ Мэв),
- вольфрам ($E_0 = 23,2$ Мэв),
- ▲ свинец ($E_0 = 28$ Мэв),
- △ свинец ($E_0 = 22$ Мэв).

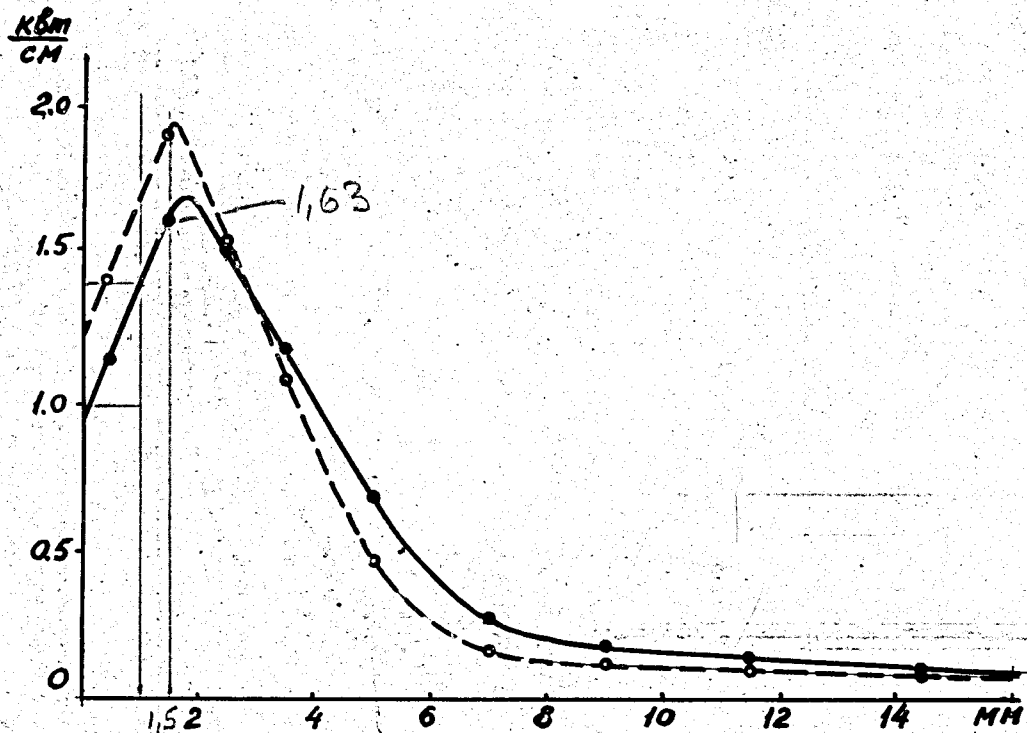


Рис. 3. Изменение плотности тепловыделений по толщине мишени для вольфрама при вводимой мощности пучка 1 квт. Сплошная кривая соответствует начальной энергии электронов 27,6 Мэв, пунктирная - 23,2 Мэв.

Результаты измерений

В результате измерений получены величины абсолютных потерь энергии электронов на толщине 1,2 см ($E_0 = 22$ Мэв) и 0,6 см ($E_0 = 28$ Мэв) для свинца и на толщине 1,6 см ($E_0 = 23,2$ Мэв и $E_0 = 27,6$ Мэв) для вольфрама с точностью 12%. Результаты показаны на рис. 2.

1. Проявляется четкий максимум тепловыделения как для свинца, так и для вольфрама, который находится на глубине 3 мм ($E_0 = 28$ Мэв), 2,5 мм ($E_0 = 22$ Мэв) для свинца и 1,8 мм ($E_0 = 27,6$ Мэв), 1,5 мм ($E_0 = 23,2$ Мэв) для вольфрама.

2. Как и следовало ожидать, отношение величин максимумов тепловыделений в вольфраме и свинце равно отношению величин NZ .

3. Сравнение кривых для вольфрама при одинаковых вводимых мощностях (рис. 3) показывает, что при больших энергиях распределение потерь более равномерно.

4. Представляет интерес для конструкторов мишени то обстоятельство, что практически вся энергия пучка выделяется на 1 см толщины для рассматривавшегося нами интервала энергий электронов.

Суммарная энергия, зафиксированная в опыте, например в вольфрамовой мишени, на толщине 16 мм составляет 23,2 Мэв из 27,6 Мэв.

В заключение авторы выражают признательность Ф.Л.Шапиро за ряд ценных замечаний, Б.Дыбину за изготовление стенда мишени, Р.Харьюзову и Л.Меркулову за помощь в проведении измерений.

Л и т е р а т у р а

1. M.P. Ruffe. A Monte Carlo Treatment of the Interaction of an Electron Beam with a Heavy Target (AERE-R5172), 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

3 февраля 1970 года.