

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙТОННЫХ ПУЧКОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ
В ПЛАЗМЕННОМ ФОКУСЕ

Н.В.Филиппов, Т.И.Филиппова

В работе методом пролетной спектроскопии с использованием метода сравнительной активации Al – C-мишеней изучались условия генерации и параметры "жесткой" ($1 \div 5 \text{ Мэв}$) компоненты дейтонных пучков, образующихся в системах типа "плазменный фокус" в режиме с "убеганием" токовой оболочки.

Ранее сообщалось о работе установок типа "ПФ" в так называемом режиме "убегания" токовой оболочки [1], при котором на оси нецилиндрического z -пинча фокусируется ток более 1 Ма при поперечном размере канала около 1 мм . В результате в зоне кумуляции формируется мощный электронный пучок (ЭП), питаемый энергией магнитного поля, запятого в ограниченном плазменной оболочкой и электродом пространстве. При исходной энергии установки $60 \div 100 \text{ кдж}$ в режимах с убеганием оболочки в энергию ЭП удается перевести до 20% начальной энергии конденсаторной батареи.

Возникающее в плазменном "зазоре" электрическое поле, формирующее ЭП, должно эффективно ускорять ионную компоненту плазмы. Выбором конструкции центральной части анода и начальных условий разряда в данной работе получены режимы, в которых заметная часть полного тока I переходит в ионную составляющую. Формирующийся ионный пучок имеет резко выраженную угловую анизотропию и энергетическое распределение с граничной энергией $E_d \sim 5 \div 8 \text{ Мэв}$. Для анализа дейтонного пучка использован метод сравнительной активации комбинированной Al – C-мишени и принцип пролетной спектрометрии с осциллографированием и соответствующей обработкой сигнала со сцинтилляционного детектора, регистрирующего нейтронное излучение реакции $C^{12}(d, n)N^{13}$.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Эксперименты проводились на установке "МГ" типа "плазменный фокус" [1] при начальном напряжении $15 \div 16 \text{ кВ}$ при давлении рабочего газа $0,6 \div 0,8 \text{ тор}$ D_2 с добав-

кой 20 мтор Хе. На разрядной камере (1) установлена дрейфовая труба (2), через которую пучок быстрых дейтонов, образующийся вблизи анода (3), попадает на мишень (4), изготовленную из алюминиевой фольги и углеродной ткани. Алюминиевая лента перфорирована отверстиями, через которые дейтоны имеют возможность взаимодействовать с углеродной тканью. На углероде под действием пучка дейтонов происходит реакция $C^{12}(d; n)N^{13}$, с образованием позитронноактивного изотопа N^{13} , а на алюминиевой фольге — $Al^{27}(d, p)Al^{28}$, где Al^{28} — бетаактивный изотоп алюминия. Возникающая активность мишеней измерялась с помощью гейгеровского счетчика СТС-6 (6). Ленточная мишень барабанами (5) может передвигаться в новое неактивированное положение. Эта конструкция позволяет работать с тремя вариантами мишеней — алюминий, углерод и их комбинация с выбранным отношением площадей.

Сравнение величин наведенных радиоактивностей мишеней позволяет оценить эффективную жесткость пучка и его мощность. Эти измерения проводятся уже после разряда, что обеспечивает методу устойчивость по отношению к наводкам, сопровождающим разряд. Сильное различие в скорости распада Al^{28} и N^{13} позволяет с достаточной точностью разложением суммы экспонент определить величины $P_{Al^{28}}$ и $P_{N^{13}}$, пропорциональные начальному количеству атомов каждого элемента. Этим методом сравнительной активации двух мишеней, обеспечивающим быстрое получение информации, были найдены режимы разряда, сопровождающиеся генерацией сильноточных дейтонных пучков. С аналогичной целью близкая к описанной методика была ранее использована в Ливерморской лаборатории (США). На рис. 2 (белые точки) для группы из 10 разрядов, сильно отличающихся радиоактивностью мишеней, приведена зависимость отношения $P_{N^{13}}/P_{Al^{28}}$ от величины $P_{N^{13}}$. Верхняя шкала — энергия эквивалентного монохроматического пучка дейтонов в MeV , для которого из соотношения сечений соответствующих реакций должно было быть зарегистрировано данное отношение наведенных активностей [2]. Видно, что с повышением абсолютной величины активности мишени, растет (вплоть до 7 — 8 MeV) энергия ускоренных дейтонов.

Была проведена абсолютная калибровка аппаратуры для определения эффективности измерения бетаактивности мишеней. Калибровка проводилась с помощью эталонного β -излучателя (золотая фольга Au^{198}) и позволила определить полное количество радиоактивных ядер N^{13} и Al^{28} , образующихся под действием дейтонного пучка.

Для получения временных характеристик пучка (момент возникновения ускоренных дейтонов, длительность генерации, спектральный состав) использован анализ нейтронного излучения, образующегося при взаимодействии дейтонов с углеродной мишенью. Фотоумножитель (7, рис. 1) с органическим сцинтиллятором расположен внутри коллимирующего устройства из полиэтилена (8) и регистрирует импульс нейтронного излучения из мишени в условиях, обеспечивающих (с помощью экранов 9 и 10) снижение фона от нейтронов из ПФ и возникающих в разряде жестких излучений.

В серии предварительных экспериментов, в частности, с изменением расстояния S от анода до мишени, было найдено, что момент воз-

никновения высокоэнергичных дейтонов совпадает с моментом генерации ЭП и время генерации не превышает $10 + 15$ нсек.

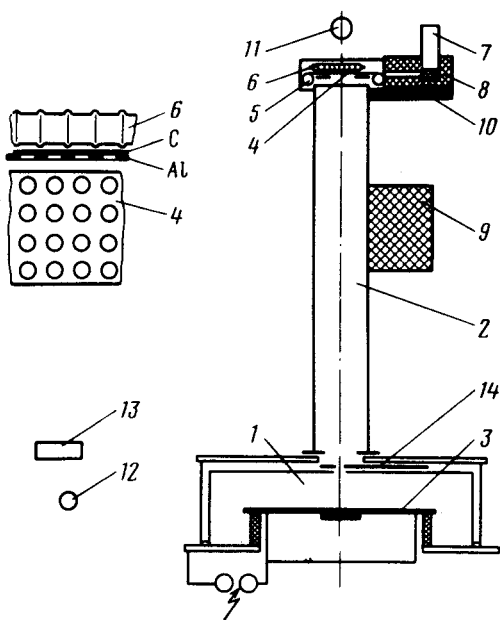


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и размещение измерительной аппаратуры

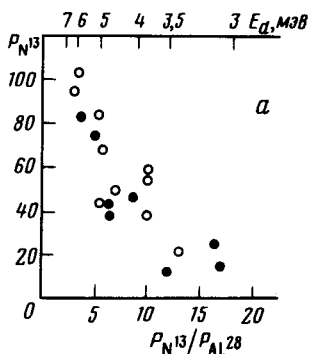


Рис. 2. Сравнение метода активации двух мишеней с активационно-пролетным методом

На рис. 3 приведена типичная осциллограмма нейтронного импульса углеродной мишени размером 6×8 см² при попадании в нее пучка быстрых дейтонов, пролетевших 158 см от места генерации. Здесь же нанесен масштаб энергии дейтонов E_D , соответствующий каждому участку импульса dN_n/dt . По известной эффективности ядерных реакций на углеводе в зависимости от E_d , из приведенной на рис. 2, а осциллограммы было рассчитано распределение дейтонов в пучке по энергии — (1, рис. 2, б). Аналогичным образом были рассчитаны спектральные распределения дейтонов для разрядов, сильно отличающихся измеренной величиной $P_{N^{13}}$. Все полученные распределения оказались расположенными между кривыми 1 и 2 (рис. 3, б). Из приведенной на рис. 3, б кривой была рассчитана величина активности алюминиевой мишени, которая должна возникнуть при облучении дейтонным пучком такого состава

ва. Найденное расчетное отношение P_{N13} / P_{Al28} нанесено черными точками на график с экспериментальными значениями (рис. 2). Видна общая для обеих групп тенденция в зависимости отношения активностей от абсолютной величины P_{N13} и совпадение самих расчетных и измеренных значений этого отношения. Отсюда видно, что применение метода сравнительной активации комбинированных мишеней для анализа немонахроматических пучков выделяет "жесткую" часть спектра и тем самым завышает среднюю энергию частиц в пучке. Однако, использование этого метода помогает в поисковых экспериментах с целью оптимизации конструкции и режимов установки.

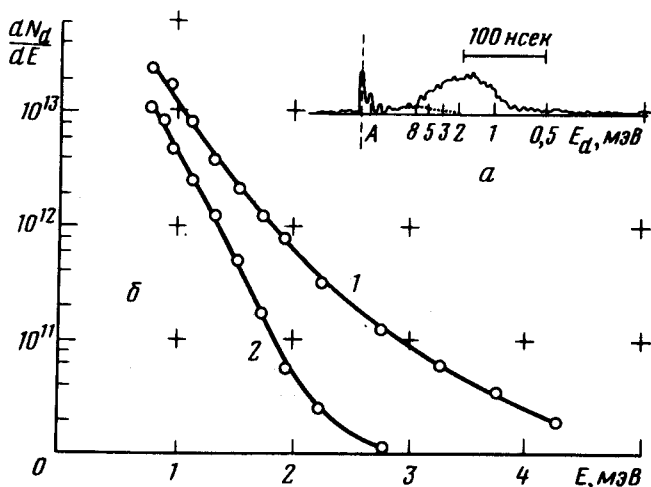


Рис. 3. Осциллограмма нейтронного импульса от реакции (а) и типичные спектры быстрых дейтронов (б)

Применение разработанных методик к анализу дейтронных пучков, формирующихся в режимах с "убеганием" тóковой оболочки, позволило установить следующие параметры жесткой компоненты пучка.

1. Длительность генерации высокоэнергичных дейтронов ($E_d > 0,7 \text{ Мэв}$) составляет $10 + 15 \text{ нсек}$.
2. Пучок имеет широкое спектральное распределение простирающееся до $5 + 8 \text{ Мэв}$.

Авторы благодарят В.А.Безбатченко, О.С.Кудряшова и В.В.Комиссарова за помощь в проведении экспериментов и Ю.А.Прокофьева и В.В.Хмызова за консультации по калибровке аппаратуры.

Институт атомной энергии
им. И.В.Кучатова

Поступила в редакцию
31 января 1977 г.

Литература

- [1] В.И.Агафонов и др. Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Research, JAEA, 2, 21, 1969.
- [2] F.C.Young. M.Friedman. J. of Appl. Phys., 46, 2001, 1975.