

## Газовые мишени ГМ-1 и ГМ-2 для экспериментов по рассеянию электронов

А.Ю.Буки

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков

Для исследования на ускорителе электронов ЛУЭ-300 ХФТИ ядер дейтерия и изотопов гелия были разработаны газовые мишени ГМ-1 и ГМ-2. Так как основным направлением планировавшихся экспериментов было получение поперечных и продольных функций отклика ядер, то газовые мишени должны были обеспечить возможность измерений в широком диапазоне углов рассеяния электронов ( $\theta$ ), включающем максимальное их значение.

### ОБЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ

Установка СП-95 [1] позволяет вести измерения до  $\theta=160^\circ$ . Требование проведения измерений под максимальным углом ограничивает, из-за технических трудностей, возможный угловой диапазон мишени одним этим углом. Поэтому было создано две мишени: ГМ-1 для  $\theta=160^\circ$  и ГМ-2 для измерений под другими углами. Схема этих мишеней приведена на рис.1.

Пучок электронов по направлению линии 1 проходит сквозь сосуд высокого давления 2 через фольги входного 3 и выходного 4 окон. Электроны, рассеянные газом на отрезке  $\tau$  (эффективная толщина мишени) через фольгу окна 5 и щелевой коллиматор 6, попадают в коллиматор спектрометра 8. Электроны, рассеянные на газе вне отрезка  $\tau$  и на фольгах окон 3 и 4, экранируются от попадания в спектрометр свинцовой защитой 7 (в случае ГМ-1) или коллиматором 6 (в ГМ-2).

За исключением окна 5 ГМ-2 все остальные окна обеих мишеней одинаковые. Конструкция этих, в плане круглых, окон на рис.1 узел А. Фольга окна 9 прижимается фланцем 10 к корпусу мишени 2. Для уплотнения места контакта фольги с корпусом используется одноразовое кольцо 11 из отожженной меди. Чтобы избежать нагрузки сдвига (среза) на фольгу (прочность на сдвиг для металлов в 1,5–2 раза меньше чем на разрыв), внутренняя кромка прилегающего к фольге фланца закруглена  $r \approx 0,1$  см.

### ФОЛЬГИ ОКОН

Размеры входных и выходных окон, характеристики их фольг и давление (Р) газа в мишени –

величины взаимозависимые. Выбор их значений определяется следующими условиями:

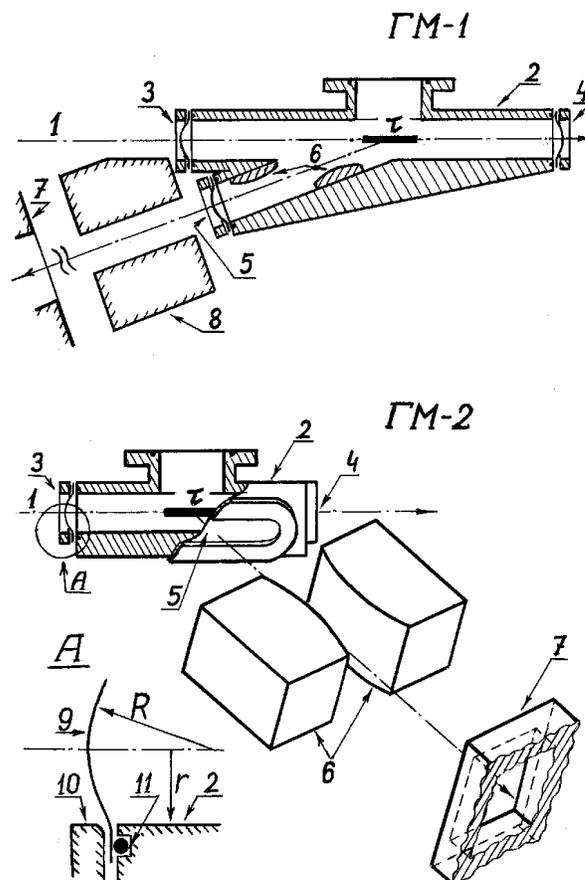


Рис. 1

- 1) Р до 100 атм.
- 2) Диаметр окна 3 должен обеспечивать прохождение пучка, а окна 4 также и конуса от его рассеяния на фольге входного окна и газа в мишени.
- 3) После мишени раствор конуса рассеяния пучка должен быть таким, чтобы не менее 99% первичных электронов регистрировалось монитором тока, расположенным за мишенью.
- 4) Сумма толщин фольг окон 3 и 4 должна быть минимальной, т.к., хотя вход в коллиматор спектрометра и защищен от прямого рассеяния электронов на них, рассеяние под другими углами создает

дополнительный фон, ухудшающий условия измерений.

5) Толщины фольг окон 3 и 5 должна быть не более нескольких сотых рад. длин (р.д.) – условие применимости формул для расчета радиационно-ионизационных поправок к данным измеряемых спектров.

Все эти условия приводят к задаче выбора фольги с максимальной погонной прочностью при минимальной толщине в р.д..

Погонная прочность фольги толщиной  $\delta$  из материала с прочностью на разрыв  $\sigma$  есть  $\delta\sigma$ . Толщина фольги в р.д.:  $x = \rho\delta/x_0$ , где  $\rho$  – и  $x_0$  – соответственно плотность и рад. толщина материала. Отсюда

$$\eta = \sigma x_0 / \rho \quad (1)$$

– погонная прочность на одну р.д. (п.п.р.д.).

Т.о., получен параметр необходимый для выбора материала фольги.

Фольга в окне мишени – сегмент сферы радиуса  $R$ . Известно, что  $\delta = PR/\sigma$  (см. справочник [2]). Пользуясь этим выражением, запишем толщину фольги в р.д. через п.п.р.д.

$$x = P_0 R / \eta. \quad (2)$$

Минимальное значение  $R$  есть радиус окна  $r$ . Подставив в (2)  $R=r$ , получим наименьшую для данного материала толщину фольги, которая в этом случае представляет собой полусферу. Такое решение имеет два недостатка: А. Технически не просто изготовить тонкостенную полусферу, т. к., чтобы обеспечить нужную пластичность материала, выпрессование такой формы необходимо проводить при высокой температуре, а поскольку в результате этой операции толщина фольги не будет постоянной по всей поверхности, то может потребоваться прецизионная обточка. Б. Не трудно вычислить, что толщина фольги в направлении оси окна будет меняться по мере удаления от центра как

$$\delta(r') = \delta / (1 - (r'/R)^2)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $r'$  – текущая координата,  $r' \leq R - \delta$ . Т.о. в значительной части площади окна толщина фольги для электронов может оказаться неприемлемо велика и эта часть площади не будет считаться рабочей.

Зададим максимальное значение  $\delta(r')/\delta = 1,5$ . Согласно (3)  $r' = 0,75R$ . Пусть радиус окна  $r$  равен этому значению  $r'$ . В такой геометрии появляется возможность обойти технологическую трудность (А), если давление газа сможет само сформировать сегмент сферы нужного радиуса. Очевидно, что возможность такого решения зависит от способности материала к деформации растяжения. Свяжем относительное линейное удлинение материала  $\epsilon$  с величиной  $R$

$$R = r(1 + \epsilon) / (2 \epsilon^{1/2}). \quad (4)$$

Для  $\delta(r')/\delta = 1,5$  удлинение  $\epsilon \leq 0,2$ . Такие значения  $\epsilon$  относятся к пластической деформации, и поэтому радиальная толщина фольги в р.д. будет равна

$$x_r = x / (1 + \epsilon). \quad (5)$$

Подставив  $R$  из (4) в выражение (2) и используя (5) получим

$$x_r = Rr / (2\eta\epsilon^{1/2}). \quad (6)$$

Т.о., в задаче формирования фольги давлением газа возникает дополнительное требование к материалу:  $\epsilon \geq 0,2$ . Для этого случая оптимальным представляется выбор титана или его сплавов, т.к. у этих материалов  $\epsilon = 0,2-0,3$  и  $\eta \geq 27 \times 10^3$  кг/см, тогда как у пластичных сталей  $\eta \leq 9 \times 10^3$  кг/см.

В мишенях ГМ-1 и ГМ-2 был принят радиус окон  $r_0 = 1$  см и рабочее давление  $P_0 = 100$  атм. При условии  $\delta(r')/\delta \leq 1,5$ , для титановой фольги из формулы (2) следует  $x \leq 5 \times 10^{-3}$  р.д., или  $\delta \leq 1,8 \times 10^{-2}$  см.

Мы располагали титаном (техническим сплавом) с  $\delta = 1,7 \times 10^{-2}$  см. Будучи установленными в мишень, эти фольги выдержали давление более 100 атм и приобрели кривизну  $R = 1,8$  см. Из выражений (4) и (5) получаем  $x_r = 0,43 \times 10^{-2}$  р.д., а из формулы (3) для  $r' = 1$  см  $x(r') = 0,51 \times 10^{-2}$  р.д. Овальное окно ГМ-2 (5 на рис. 1) имеет размеры 11,5 × 1,6 см. В нем установлена та же фольга, что и в других окнах. С такими фольгами мишени ГМ-1 и ГМ-2 имеют параметры, соответствующие вышесформулированным пяти условиям.

## КОЛЛИМАТОРЫ ДЛЯ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Электроны, рассеянные ядрами атомов газа, попадают в спектрометр через коллиматор мишени. В ГМ-1 коллиматор расположен внутри сосуда высокого давления (см. рис. 1), в ГМ-2 – находится за окном 5 и жестко связан с спектрометром. Благодаря близости коллиматора к центру мишени минимизируется отрезок пути пучка в газе, от которого рассеянные электроны не попадают в спектрометр. Применение щелевых коллиматоров обеспечивает независимость измерений (величины  $\tau$ ) от поперечного смещения пучка и изменения его диаметра в пределах половины радиуса окна от оси мишени.

Некоторые из электронов, проходящих коллиматор, взаимодействуют с его поверхностным слоем и, потеряв часть энергии, попадают в спектрометр. Это явление, называемое краевым эффектом коллиматора, приводит к искажению измеряемого спектра. Найдено, что оптимальной формой для рабочих поверхностей коллиматора есть дуга окружности (ее радиус обозначим  $R_k$ ). Анализ краевого эффекта показал, что для спектров электронов, которые измеряются в пределах от  $0,4E_0$  до  $E_0$ , этот фон будет иметь своим источником поверхностный слой коллиматора толщиной  $h = x_k^2 / (8R_k)$ , где  $x_k$  – радиационная толщина материала коллиматора.

Отсюда, из всех электронов, проходящих щель коллиматора шириной  $d$ , доля тех, которые создают фон от краевого эффекта:

$$K = x_k^2 / (4R_k d). \quad (7)$$

Максимальное значение величины  $R_k$  определяется: угловым захватом спектрометра  $\alpha$ ; расстоянием между центрами мишени и коллиматора  $J$ , мишени и входом в спектрометр  $L$ ; протяженностью коллиматора  $Z$ . Для  $J \ll L$  и  $\alpha \ll 1$

$$\text{MAX}(R_k) = \alpha^{-1} (Z - x_k) (1 - J/L). \quad (8)$$

Коллиматоры мишеней выполнены из свинца, а их рабочие поверхности покрыты слоем вольфрама ( $x_k = 0,36$ ) толщиной  $0,03$  см. Их  $R_k$  (в скобках расчетный  $\text{MAX}(R_k)$ )  $50(70)$  см в ГМ-1 и  $100(200)$  см в ГМ-2. Для данной конструкции оценка фона от краевого эффекта:  $K \leq 10^{-5}$ .

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МИШЕНЕЙ

На рис. 2 приведен полученный с помощью ГМ-2 спектр электронов, рассеянных на ядрах дейтерия, и фон от пустой мишени (соответственно открытые и закрытые кружки). Отрицательные значения данных – результат вычитания счетов случайных совпадений. Наблюдаемый фон стабилен в течение времени измерения спектра, но его величина изменяется при переходе ускорителя на другую энергию и зависит от расположения коллиматоров и монохроматоров пучка. По-видимому, источником фона является рассеяние ореола пучка на фланце входного окна мишени, а его вариации отражают качество выведения пучка электронов на мишень.

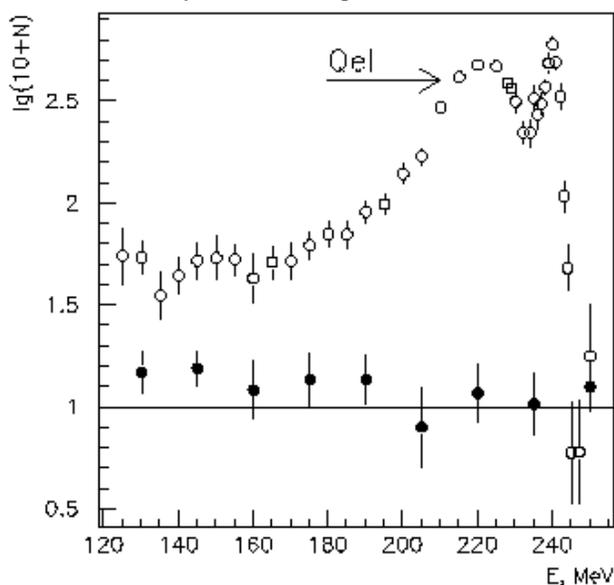


Рис. 2

Величина уровня фона удовлетворяет требованиям эксперимента. Так, при измерениях на  $^2\text{H}$  и  $^4\text{He}$  фон под максимумом пика квазиупругого рассеяния (Qel на рис. 2) составлял  $0,1-0,5\%$  от эффекта в случае ГМ-2

и не превышал нескольких процентов на мишени ГМ-1. Из опыта применения мишеней отметим, что благодаря измерениям на ГМ-1 под столь большим углом рассеяния как  $160^\circ$  в работах [3] были получены значения момента поперечной функции отклика ядра  $^4\text{He}$  без обычно необходимых для этого дополнительных измерений под малыми углами.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ МИШЕНЕЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Приведем параметры ГМ-1, ГМ-2 и для сравнения газовой мишени Массачусетского технологического института (г.м. МТИ):

	ГМ-1	ГМ-1	г.м.МТИ
Р атм	100	100	100
$\theta_{\min}-\theta_{\max}$	$160^\circ$	$50^\circ-130^\circ$	$45^\circ-135^\circ$
материал фольг	титан	титан	сталь
толщина мишени в (р.д.) $\times 10^2$			
для пучка	0,86	0,86	3,00
$50^\circ-130^\circ$ *)	—	0,57	3,90
$90^\circ$ *)	—	0,44	3,00
$160^\circ$ *)	0,43	—	—

Прим. \*) Для рассеянных на этот угол электронов.

Указанные толщины относятся к пустым мишеням. В случае заполнения их легкими газами к этим данным надо добавить  $0,2-0,4 \times 10^{-2}$  р.д..

Возможные области применения ГМ-1 и ГМ-2:

- 1) Исследование ( $e, e'$ )-рассеяния на ядрах  $^2\text{H}$  и  $^4\text{He}$ , а также более тяжелых газообразных элементов.
- 2) Толщины фольги выходного окна и газа в мишени позволяют регистрировать протоны с энергией  $\geq 12$  Мэв, т.е. исследовать ( $e, p$ )- и ( $\gamma, p$ )- реакции.
- 3) Вклад в сечение ( $e, e'$ )-рассеяния квадрата поперечного формфактора  $(F_T)^2$  относится к квадрату продольного  $(F_L)^2$  как  $1/2 + \text{tg}^2(\theta/2)$ . При  $\theta = 160^\circ$  эта функция равна 32,5. Поэтому, для случаев  $(F_T)^2 / (F_L)^2 > 0,1$ , мишень ГМ-1 позволяет получать данные, подобные результатам измерений под  $180^\circ$ .

В заключение автор должен сказать, что в работе над ГМ-1 и ГМ-2 он опирался на опыт эксплуатации газовой мишени, созданной ранее И.И. Чкаловым и В.В. Хвастуновым [5], а также считает своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность Н.Г. Шевченко, В.Н. Полищуку и А.А. Хомичу за помощь в изготовлении и апробации мишеней.

### Литература

1. Афанасьев Н.Г. и др. ЯФ. 5, 318 (1967).
2. Краткий физико-технический справочник. Под ред. К. П. Яковлева, Гос. изд. ф.-м. лит. Москва 1960, т.2, стр.138.

3. Вuki A.Yu. et al. Preprint IAE-5397/2 M., 1991.  
Буки А.Ю., Шевченко Н.Г., Полишук В.Н.,  
Хомич А.А. Я.Ф. 58, 1353 (1995).
4. G. Quinn et al. Phys.Rev.C37, 1609 (1988).
5. Чкалов И.И. Диссертация ХГУ, Харьков-1975.

Статья поступила: в редакцию 25 мая 1998 г.,  
в издательство