

КРИОГЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВВЕДЕНИЯ
В ФОКУС ЛАЗЕРА СФЕРИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ

А. И. Исаков, Л. А. Крупинина, Ю. А. Меткульев,
А. И. Никитенко, Е. Р. Рычкова

УДК 533.924

Разработаны простые и удобные в обращении криогенные устройства для изготовления сферических лазерных мишеней на подвесе в виде тонких нитей на основе ранее предложенных авторами принципов. Устройства позволяют получать сферические мишени из твердого водорода в теплой вакуумной камере.

Большой интерес представляет использование в экспериментах по лазерному термоядерному синтезу сферических мишеней из твердого дейтерия. Такие мишени, не содержащие никаких других элементов, кроме изотопов водорода, дают уникальную возможность изучать чистую дейтериевую или водородную плазму и процессы, происходящие в ней при поглощении света лазера.

Требования, предъявляемые к мишеням, наиболее жестки в экспериментах по сферически симметричному облучению /1,2,3/. Во-первых, отклонение формы мишени от сферической должно быть не более нескольких десятых долей процента, во-вторых, она должна располагаться в фокусе лазерной установки с точностью в несколько микрон и, наконец, время жизни мишени в камере должно быть достаточным для установки ее в фокус.

К настоящему времени в литературе описан ряд различных методов и установок для получения мишеней из твердого H_2 или D_2 /4,5,6/. Ранее в работе /3/ был предложен метод изготовления сферических мишеней из твердого водорода или дейтерия, подвешенных на тонких нитях, который наиболее полно удовлетворяет перечисленным выше требованиям.

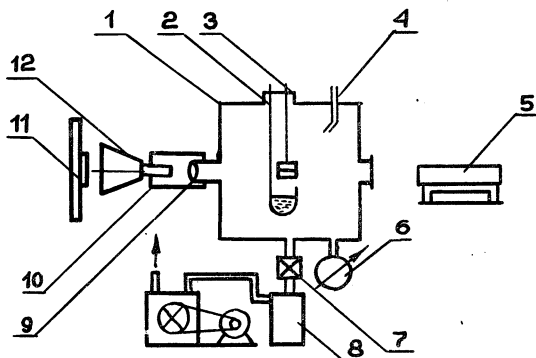
В работе Зигеля и др. /7/ описан способ получения криогенных мишеней в виде диска. Имеются многочисленные публикации по

методам изготовления мишеней цилиндрической формы, которые основаны на замораживании H_2 или D_2 в капилляре, откуда твердое вещество либо выдавливается, либо выбрасывается. Все эти способы дают мишени, которые могут использоваться лишь в однолучковых экспериментах, так как не обладают сферической формой.

В работе /5/ предложен интересный метод формирования сферических частиц твердого дейтерия. Струя жидкости, вытекающая через малое отверстие, под действием звукового возбуждения дробится на маленькие капли, приблизительно одинакового размера. Давление в камере может быть подобрано так, что капли будут замерзать в падении. На подобном принципе основан эксперимент /6/, в котором были получены сферические капли жидкого водорода с полостью внутри. Однако, получение таким способом тонкостенных твердых оболочек, по-видимому, чрезвычайно сложно.

Замораживание капель жидкости в свободном падении позволяет получить высокую степень сферичности только при условии медленного замораживания, что создает серьезные трудности по введению такой мишени в фокус с высокой точностью. Наиболее удобным является подвес сферической мишени в фокусе лазерной установки. Предлагаемый нами метод /3/ позволяет получать сферические частицы твердого дейтерия, подвешенные на тонких нитях, причем весь процесс получения происходит непосредственно в камере облучения. Жидкий дейтерий заливается в миниатюрный сосуд Дьюара, закрепленный в центре лазерной камеры. Внутри сосуда находится легкая жесткая рамка с натянутой на нее тонкой нитью. Так как капли жидкости образуются на нити во вполне определенных местах (там, где есть небольшие неоднородности), то рамка может быть заранее установлена так, чтобы образующаяся капля жидкого дейтерия находилась в фокусе лазерной установки. Сосуд же может свободно перемещаться относительно нити в вертикальном направлении (или просто отстреливаться). При откачке происходит кипение жидкости, в результате чего над поверхностью поднимается много мелких брызг, часть которых оседает на нити и объединяется в более крупные капли. Затем сосуд немного опускается, давление понижается и капли замерзают. При этом холодные стенки сосуда предохраняют твердые дейтериевые шарики от быстрого испарения за счет теплового излучения стенок камеры и контакта со сравнительно теплым газом, на-

ходящимся в камере. Корректируя положение твердых мишеней, находящихся в криогенном сосуде, можно ввести их в фокус лазера. Затем сосуд может быть быстро убран и мишень подвергнута облучению.



Р и с.1. Блок-схема криогенного устройства для изготовления мишеней в теплой камере и введения мишеней в фокус лазера: 1 - камера; 2 - подвес микрокристата; 3 - подвес рамки; 4 - трубка для заливки; 5 - подставка; 6 - манометр; 7 - электромагнитный клапан; 8 - насосы; 9 - объектив для переноса изображения; 10 - объектив микроскопа; 11 фотоаппарат; 12 - микрофотонасадка

По расчетам время жизни твердой дейтериевой мишени диаметром 1 мм в камере с температурой стенок 300°K и при низком давлении ($\sim 10^{-3}$ мм рт.ст.) составляет около 100 сек. В расчетах учитывалось нагревание мишени за счет теплопередачи по остаточному газу и лучистого теплопритока от теплых стенок камеры. Расчет, подтвержденный в данных экспериментах, показывает, что основной причиной сублимации мишени из твердого водорода является теплопередача по газу вплоть до давления 0,1 мм рт.ст. При давлении ниже 0,005 - 0,01 мм рт.ст. основной причиной испарения является лучистый перенос тепла, а время жизни мишени, определяемое как время, за которое сублимирует 10% массы, составляет несколько десятков секунд, что достаточно для проведения коррекции положения мишени и импульсного облучения светом лазера. Таким образом мы приходим к выводу о возможности отказаться от азотного экрана, что существенно упрощает всю конструкцию.

Таким образом, предлагаемый метод имеет ряд преимуществ: конструкция устройства для производства мишеней отличается сравнительной простотой и миниатюрностью, для ее использования требуются минимальные изменения в конструкции камеры многолучковой лазерной системы, количество жидкого дейтерия, расходуемое на одну заливку, составляет менее 1 см^3 .

Проверка описанного метода была произведена на упрощенном макете (рис. I) с жидким водородом. Капли жидкого водорода замораживались с различной скоростью, при этом было установлено, что от скорости понижения давления зависят однородность твердородных шариков. При большой скорости они получаются непрозрачными с множеством мелких дефектов внутри, при меньшей скорости неоднородностей значительно меньше. Продолжается изучение влияния скорости охлаждения на однородность сферы и исследуются способы тепловой обработки сфер. Приведем основные результаты. Предложены принцип и созданы устройства, позволяющие изготавливать сферические мишени из твердого водорода и дейтерия с заданной скоростью замораживания непосредственно в фокусе лазерной установки. Эти же устройства позволят готовить оболочки с вымораживанием газа в любой вакуумной камере.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность Р. Н. Трактирникову за помощь в подготовке аппаратуры.

Поступила в редакцию
29 декабря 1976 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Г. Басов и др. ИЭФ 35, 109 (1972).
2. R. Jonson et al. IAEA-CN-33/FI, KMS Fusion, Inc., Ann Arbor, Michigan, USA.
3. Е. Г. Гамалин, А. И. Исаков, Ю. А. Меркульев, А. И. Никитенко, Е. Р. Рычкова, Г. В. Слизков. Квантовая электроника, 2, 1043 (1975). Е. Р. Рычкова. Квантовая электроника, 2, 1048 (1975).
4. A. Taylor, J. Phys. Instrum. (J. Phys. E), Ser. 2, 2, 696 (1960).

5. U. Shewenn, R. Sigel, J. Phys. E: J. Sci. Instrum., 7, 715 (1974).
6. C. A. Foster, C. D. Hendricks, R. J. Turnbull, Appl. Phys. Lett., 26, 10 (1975).
7. R. Sigel, H. Krause, S. Witkowski, J. Sci. Instrum. (J. Phys. E) ser. 2, 2, 187 (1969).