

22/1-72

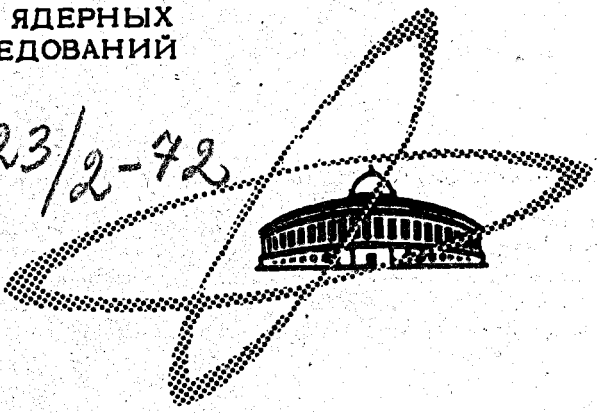
Б-262

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1723/2-72

P13 - 6324



В.Д.Бартенев, А.А.Белушкина, А.И.Валевич,  
Г.И.Гай; А.М.Горелов, В.П.Ершов, Л.С.Котова,  
В.А.Никитин, Ю.К.Пилипенко, В.В.Смелянский

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

УСТАНОВКА  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРУЙНОЙ МИШЕНИ  
ИЗ СКОНДЕНСИРОВАННОГО ВОДОРОДА,  
РАБОТАЮЩАЯ  
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ

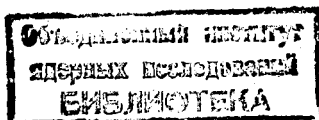
1972

P13 - 6324

В.Д.Бартенев, А.А.Белушкина, А.И.Валевич,  
Г.И.Гай, А.М.Горелов, В.П.Ершов, Л.С.Котова,  
В.А.Никитин, Ю.К.Пилипенко, В.В.Смелянский

УСТАНОВКА  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРУЙНОЙ МИШЕНИ  
ИЗ СКОНДЕНСИРОВАННОГО ВОДОРОДА,  
РАБОТАЮЩАЯ  
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ

*Направлено в ПТЭ*



Для проведения  $pp$ - и  $pd$  экспериментов на внутреннем пучке ускорителя разработана установка, позволяющая импульсно получать в камере ускорителя струю сконденсированного водорода /1-3/.

#### Схема установки (рис. 1)

Сжатый водород под давлением  $0,3 + 1$  ат с помощью двух последовательных электромагнитных клапанов (1,2) подается в теплообменник (3), где охлаждается и конденсируется потоком испаряющегося гелия. Сконденсированный водород через сопло и систему коллиматоров (4) поступает в вакуумную камеру ускорителя перпендикулярно пучку заряженных частиц. Струя пересекает камеру ускорителя в зоне пучка, попадает в ловушку нижнего крионасоса (6) и улавливается. Нижний крионасос имеет две ловушки, охлаждаемые жидким гелием: основную - для улавливания струи с круглой горловиной площадью  $19,6 \text{ см}^2$ , и дополнительную - с горловиной  $36,6 \text{ см}^2$ . Дополнительная ловушка служит для увеличения скорости откачки диффузного газа, рассеянного по камере в момент истечения водорода. Крионасосы и устройство, формирующее мишень, выполнены подвижно - могут вводиться в шлюз (8) или выводиться из него. Перемещением насосов можно управлять дистан-

ционно с пульта управления. С этого же пульта можно открывать и закрывать вакуумные шиберы, а также осуществлять все технологические операции по охлаждению и заливке жидким гелием. Вывод формирующего устройства с крионасосами в шлюз необходим для отогрева и сублимации твердого водорода, накопленного в крионасосах в течение 5-6 часов работы в камере ускорителя (11). В установке непрерывно измеряются: уровень жидкого гелия с помощью сверхпроводящего указателя, количество водорода, впускаемое в камеру ускорителя в каждом цикле; изменение вакуума во время существования струи; контролируется температурный режим теплообменника. Все основные параметры записываются на ленту. Предусмотрен вывод сигналов на ЭВМ.

#### Охлаждение и конденсация водорода

Теплообменник для охлаждения и конденсации водорода выполнен из медного капилляра  $\phi$  2 x 1 (1) и трубки охлаждающего гелия  $\phi$  5 x 4 (2), спаянных по ее длине 500 мм. Измерение температур в теплообменнике осуществляется с помощью термометров  $T_1 - T_4$  (рис. 2), изготовленных из платиновой проволоки диаметром 50 мкм, навитой на трубку и залитой эпоксидной смолой.

Водород и охлаждающий гелий подаются в теплообменник импульсно (рис. 3). В момент подачи гелия (импульс 2) температура холодного конца теплообменника понижается, а в момент подачи водорода (импульс 3) возрастает. Охлаждение водорода производится за счет теплоемкости металла. Распределение температур по длине теплообменника показано на рис. 2.

Можно предположить, что сразу после подачи водорода на внутренней поверхности холодного конца капилляра происходит образование конденсированной пленки. Как показывает киносъемка, истечение из

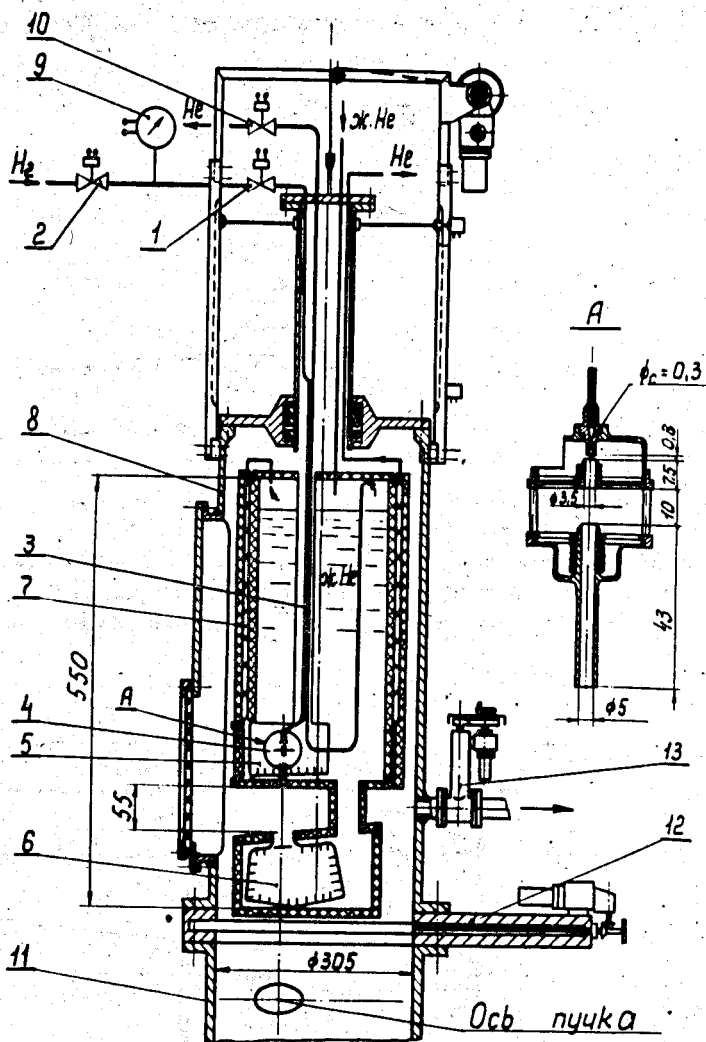


Рис. 1. Установка для получения струи из сконденсированного водорода. 1,2 - клапаны подачи водорода; 3 - теплообменник; 4 - сопло и система коллиматоров; 5 - ловушка верхнего крионасоса; 6 - нижний крионасос; 7 - экран, охлаждаемый парами гелия; 8 - щюз мишени; 9 - манометр электрический; 10 - клапан выхода испаряющегося гелия; 11 - камера ускорителя; 12 - вакуумный шибер; 13 - шибер откачки сублимируемого водорода.

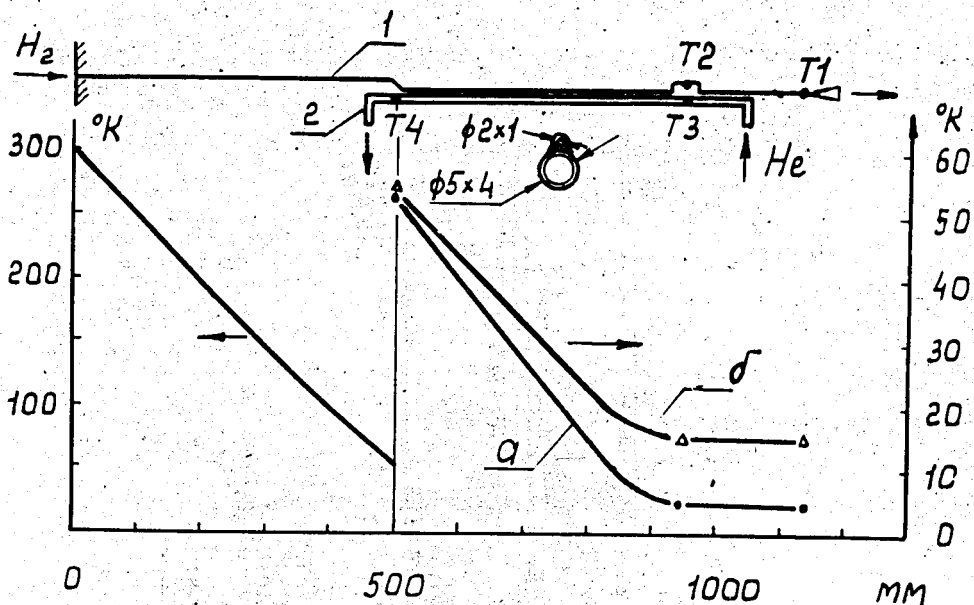


Рис. 2. Распределение температуры по длине теплообменника: а - до подачи водорода; б - в конце истечения. 1 - водородный капилляр; 2 - трубка охлаждающего гелия,  $T_1 - T_4$  - точки замера температур.

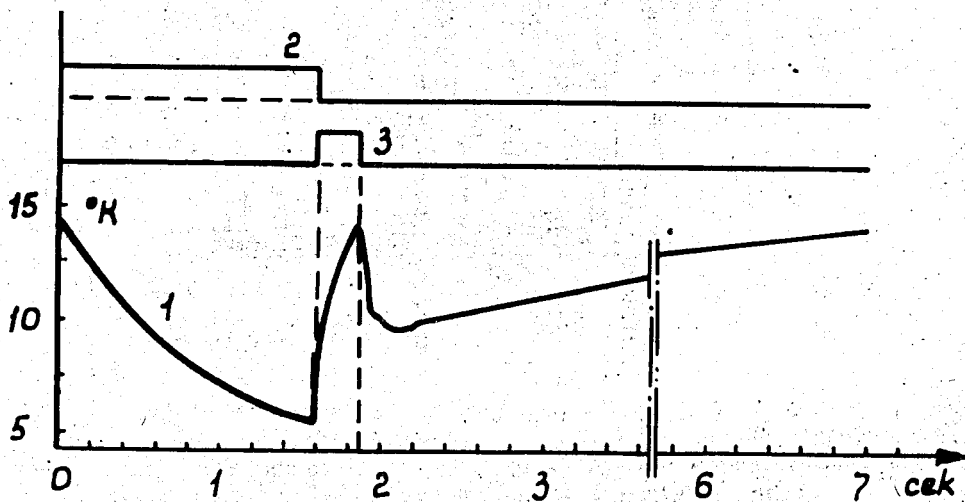


Рис. 3. 1 - изменение температуры водородного капилляра вблизи холодного конца теплообменника (точка  $T_2$ ); 2 - импульс подачи охлаждающего гелия в теплообменник; 3 - импульс подачи водорода.

сопла в этот момент практически отсутствует (рис. 4). Теплоемкость пленки соизмерима с теплоемкостью нижней части теплообменника. По мере поступления водорода температура стенок теплообменника повышается, вымораживание водорода на стенках происходит менее интенсивно, и из сопла периодически начинают появляться капельки жидкости. Затем наступает момент, когда конденсированная пленка достаточно прогревается, становится менее вязкой, подвижной и вытекает из сопла в виде мелких или твердых частичек. В это время плотность струи максимальна. К концу истечения она снижается, так как температура теплообменника возросла, условия для конденсации водорода ухудшились, а водород, сконденсированный в первый момент, уже вытек. Метод образования сначала твердой фазы, а затем ее плавления имеет положительные особенности: уменьшается доля несконденсированного пара, снижается скорость истечения из сопла, что ведет к увеличению плотности струи. Это прямо противоположно случаю с газовой струей, где скорость ее стремятся увеличить, чтобы улучшить направленность. Для получения конденсированной струи вместо сопел можно использовать короткие капилляры.

Струя сконденсированного водорода пульсирует, т.е. ее плотность меняется в процессе истечения. Пульсация хорошо прослеживается на киноплёнке, снятой со скоростью 4000 кадров/сек. По перемещению фронтов отдельных пульсаций на смежных кадрах киноплёнки определяется скорость струи. Она различна и зависит от температуры теплообменника и давления сжатого водорода. Наблюдаемые скорости оцениваются в  $40 \pm 100$  м/сек. По расчету это соответствует плотности водорода  $2 \pm 5 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>3</sup>. На рис. 4 показано изменение плотности струи в процессе истечения, в относительных единицах. Оценка плотности производилась по величине светового потока, попадающего на фотодиод при проецировании киноплёнки на экран.

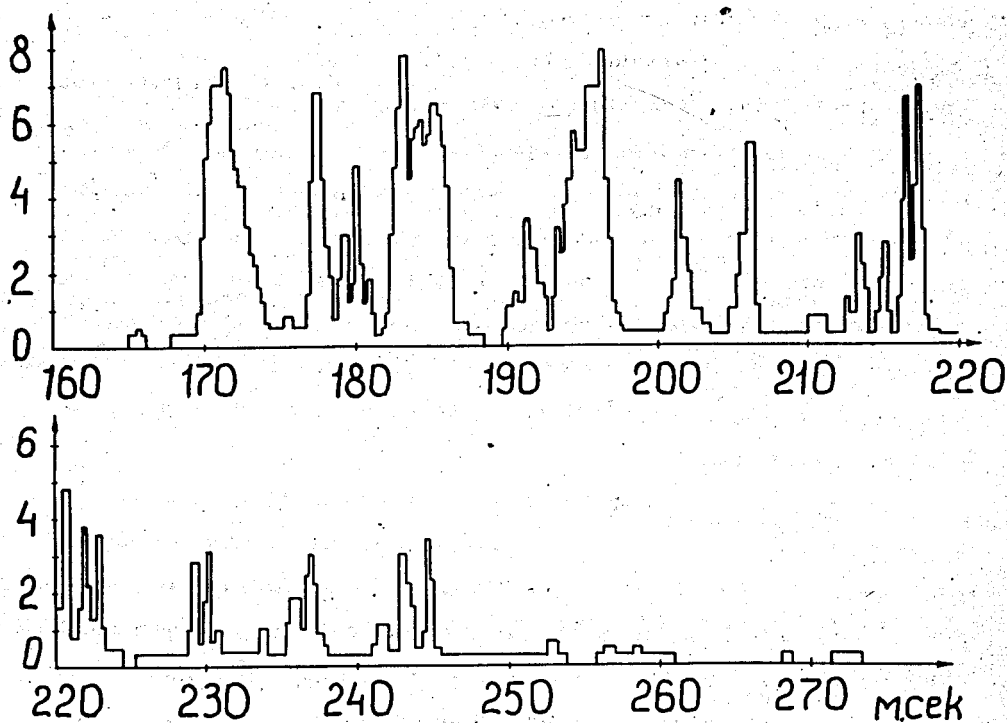


Рис. 4. Плотность струи в процессе истечения в относительных единицах. Отсчет времени ведется от момента открытия клапана подачи водорода. Длительность импульса  $\Delta t = 270$  мсек, расход водорода -  $45 \text{ см}^3/\text{имп.}$



Коллимация струи и ухудшение вакуума в момент  
истечения водорода

Сконденсированная составляющая струи коллимируется с помощью двух цилиндрических коллиматоров  $\phi$  3,5 x 5 мм. Для предотвращения оседания твердых частиц водорода стенки коллиматоров прогреваются электронагревателями. В рабочем режиме подводимая к нагревателям мощность составляет около 0,1 вт на нагреватель. Ширина струи на расстоянии 30 мм от второго коллиматора равна 10 мм. Во время существования струи вакуум в камере ухудшается, достигая максимума примерно к концу истечения, после чего начинает восстанавливаться. Ухудшение мешает работе ускорителя, а в момент истечения ухудшает фоновые условия физических измерений. В связи с этим очень важно изменение вакуума в камере ускорителя иметь минимальным, а скорость его восстановления максимально возможной. Процесс восстановления вакуума описывается уравнениями:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\Sigma Q}{V} t}, \quad (1)$$

при  $p \gg p_{\text{пред}}$ ,  $\Sigma Q = \text{const}$ ,

где:  $p_0$  - начальное давление,  $V$  - объем вакуумной камеры,  $\Sigma Q$  - разница объемных скоростей откачки и натекания газа,  $t$  - время восстановления вакуума;

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4, \quad (2)$$

где  $Q_1$  - производительность криогенных насосов,  $Q_2$  - производительность диффузионных насосов,  $Q_3$  - натекание газа в результате возгонки твердых частичек и истечения остатков конденсата из сопла,  $Q_4$  - газовыделение из изоляции.

Мы исследовали процесс восстановления вакуума в ряде систем формирования струи (рис. 5). Результаты показывают, что при газовой струе (кривые 1,2) вакуум хуже, чем при конденсированной. У конденсированной струи (кривые 3,4,5) понижение температуры происходит, в основном, за счет испарения части конденсата, что приводит к значительному ухудшению вакуума. Постоянная времени откачки системы  $\frac{\Sigma Q}{V} \lg l$ , определяемая как тангенс угла наклона кривой  $\lg p(t)$ , постепенно увеличивается, стремясь к максимальному значению (при газовой струе, кривая 1). По-видимому, это объясняется окончанием истекания в объем газа в силу факторов  $Q_3, Q_4$ .

$\Sigma Q \approx Q_1 = q \cdot F = 1400 + 1600$  л/сек, где  $q = 25 + 26,4$  л/сек см<sup>2</sup> площади горловины ловушек. Этот процесс особенно четко выражен в системе с одним коллиматором (II). Газовая составляющая струи не успевает выделиться в зазоре между соплом и коллиматором. В последнем происходит торможение струи, что может приводить к образованию на выходе коллиматора диффузного газового облачка, дополнительно ухудшающего вакуум. Восстановление вакуума замедляется возгонкой водорода с твердых частичек, осевших на внутренней поверхности коллиматора. Минимальное ухудшение вакуума наблюдается при работе системы III (кривая 6). Вычисления, основанные на изменении вакуума, показывают, что в вакуумной камере испаряется около 1,5% водорода струи, что составляет 10% от количества испаряющегося водорода в системах I, II, т.е. в верхнем крионасосе в зазоре между первым и вторым коллиматорами (10 мм) происходит выделение около 90% всего испаряющегося водорода. Это указывает на то, что водород в струе на входе во второй коллиматор должен быть в твердом состоянии и иметь температуру  $8 + 12^\circ\text{K}$ . Время, в течение которого происходит этот неравновесный процесс, должно быть меньше, чем время пролета капли (твердой частички) от выхода из сопла во второй коллиматор. В нашем случае

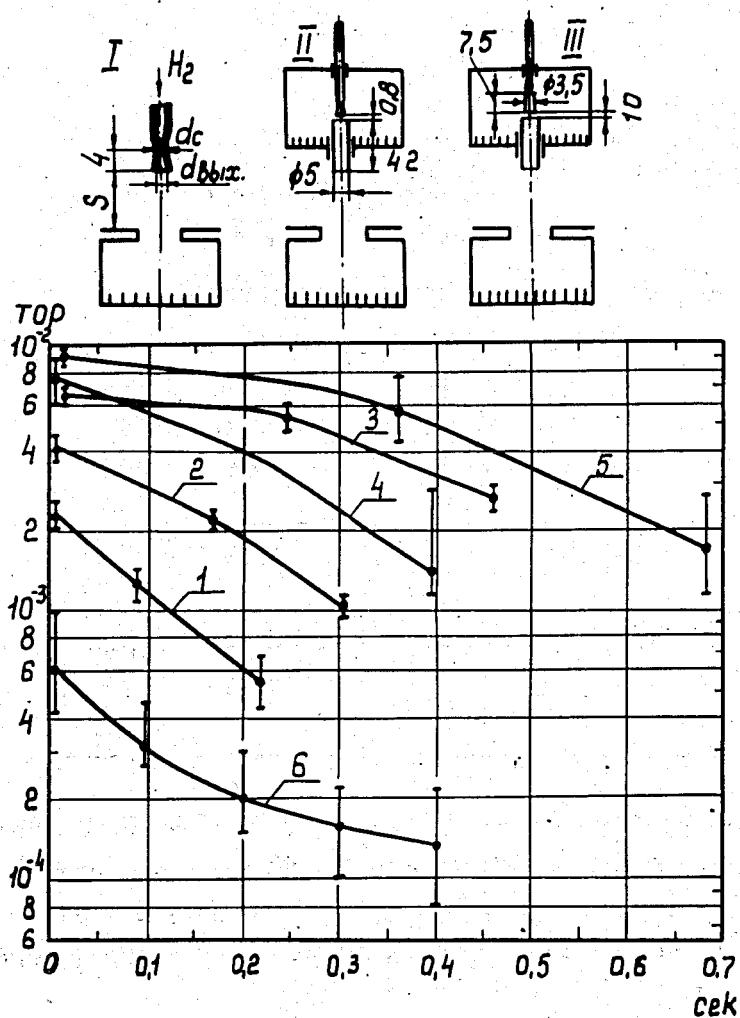


Рис. 5. Максимальное ухудшение вакуума в экспериментальном объеме и процесс его восстановления после окончания струи. 1,2 - газовая струя; 3,4 - конденсированная струя в системе I; 5 - конденсированная струя в системе II; 6 - то же в системе III. 1 - предельные наблюдаемые отклонения вакуума в различных циклах. Условия, при которых сделаны измерения, показаны в таблице.

время пролета равно 160 мксек при скорости движения конденсата  $\approx 100$  м/сек. Условия, при которых сделаны измерения, показаны в таблице.

Таблица

Кривая	Система	Сопло	Расстояние до ловушки, мм	$T_2$ в начале и в конце истечения, $K^\circ$	Расход $см^3/цикл^2$	Длительность подачи, $П_2$ мсек
1		0,31/1,8	47	40/41	65	100
2		0,36/1,8	47	37/38	35-43	100
3	I	0,31/1,8	62	8/21	65	100
4		0,36/2,8	47	14/25	35-43	100
5	II	0,31/2,8	62	5/16	38	100
6	III	0,3/1,6 капилляр $\phi 0,3; l = 8$ мм	62	6/12 7/13	20-33	100-330

Все измерения вакуума сделаны при отсутствии пучка заряженных частиц. При взаимодействии пучка со струей часть водорода (около 1%) испарится за счет тепловыделений из-за ионизационных потерь в мишени <sup>1/2/</sup>. Доля испаряющегося водорода определяется из выражения

$$\frac{G_{\text{исп}}}{G} \approx 10^{-5} \frac{j}{d \cdot v \cdot d_{\text{уск.}}} \quad (3)$$

при условии, что диаметр струи больше, чем ширина пучка ускоренных частиц, где  $G_{\text{исп.}}$  - количество испаряющегося водорода,  $G$  - количество водорода струи,  $j$  - интенсивность пучка протонов за импульс,  $d$  - диаметр струи в см,  $v$  - скорость струи в см/сек,  $d_{\text{уск.}}$  - диаметр ускорителя в м.

Авторы выражают благодарность Б.К. Курятникову, Ю.В. Куликову, М.А. Невзорову и сотрудникам за создание мишени, А.Г.Зельдовичу и сотрудникам криогенного отдела - за оказание помощи в процессе испытания мишени.

### Литература

1. В.Д. Бартенев, А.И. Валевиц, Ю.К. Пилипенко, В.В. Смелянский. Препринт ОИЯИ, Р13-6058, Дубна (1971).
2. К.Д. Толстов. Препринт ОИЯИ, 1698, Дубна (1964).
3. К.Д. Толстов. Препринт ОИЯИ, 1-4103, Дубна (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 марта 1972 года.