



# Исследование процессов насыщения изотопами водорода электродов и мишеней нейтронных источников.



Научный руководитель: д. ф.-м. н., профессор НИЯУ МИФИ  
Леон Богданович Беграмбеков

Консультант: Каплевский Александр Сергеевич, дипломник  
кафедры 21 НИЯУ МИФИ

Выполнил: Белов Павел Кириллович  
ГБОУ города Москвы лицей № 1511 при НИЯУ «МИФИ»

## Актуальность

Существуют приборы, называемые нейтронными источниками, которые служат для производства потоков нейтронов. Их используют для диагностики полезных ископаемых, в медицине и др.

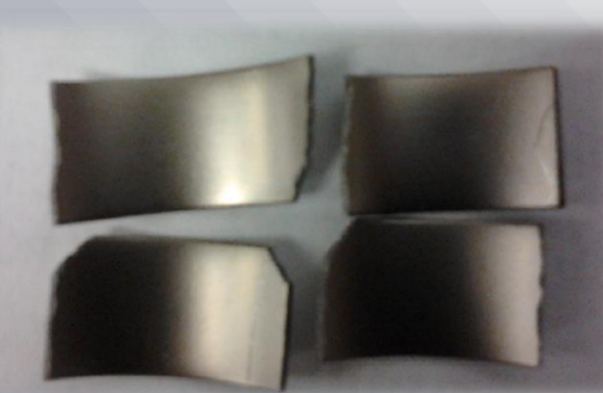


## Проблема

При работе нейтронного источника его мишень сильно нагревается, что приводит к десорбции из неё трития. Из-за этого скорость выхода нейтронов снижается. Следовательно уменьшается срок службы источника.

## Исследование

Для экспериментов были использованы специально подготовленные образцы, идентичные используемым в промышленных нейтронных источниках, но не содержащих тритий. Вместо трития образцы были насыщены дейтерием. Чтобы понять возможные пути повышения производительности источника нейтронов проводилось исследование методом термодесорбционной спектрометрии степени насыщения модельного образца титановой мишени и анода разрядного промежутка дейтерием, а также определялось присутствие водорода в исследованных образцах мишени и анода.



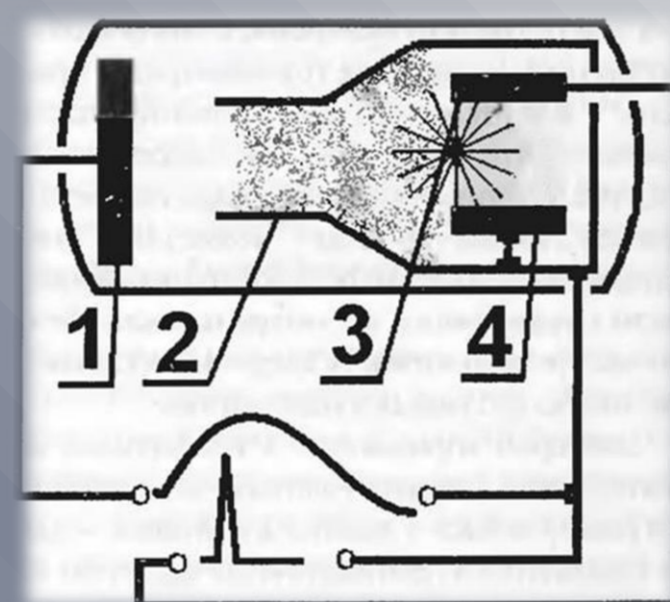
## Нейтронный генератор

### Принцип работы нейтронного источника:

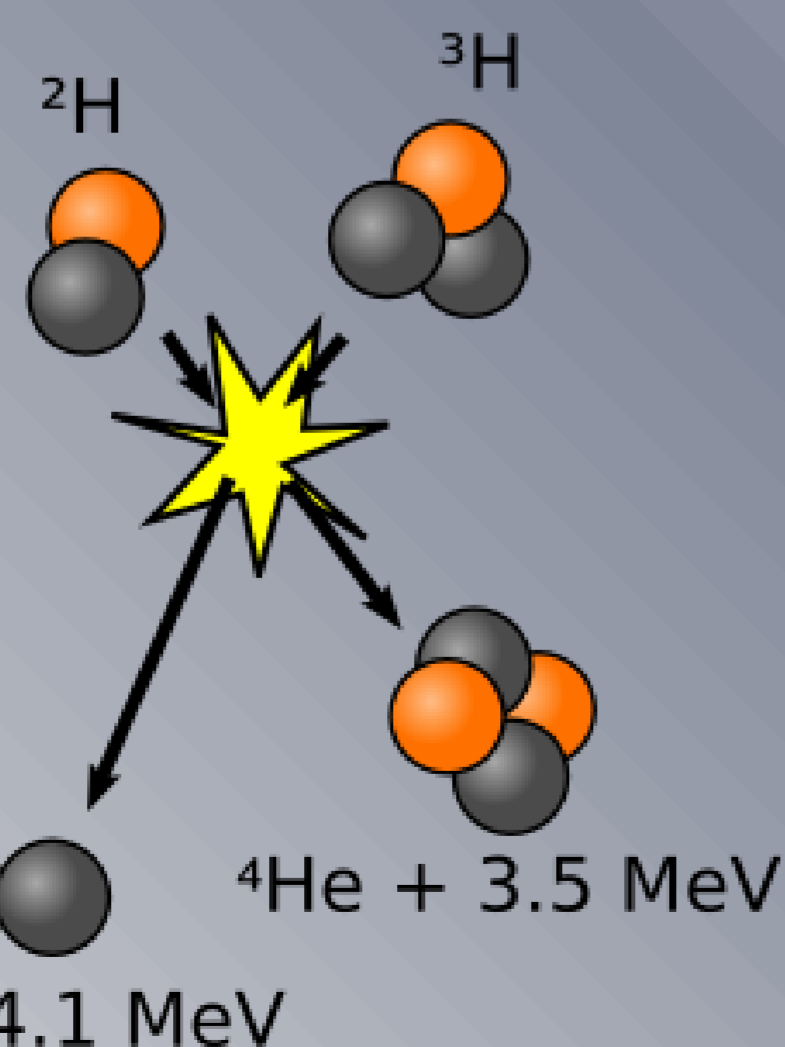
между анодом и катодом зажигается газовый разряд в дейтерии, ионы дейтерия вытягиваются из плазмы, ускоряются и попадают на титановую мишень, насыщенную тритием. Титан - металл, который может удерживать изотопы водорода при концентрациях до двух атомов водорода на один атом титана. При облучении титановой мишени, насыщенной тритием, ионы дейтерия с энергиями 100-120 кэВ внедряются в мишень. При столкновении ионов дейтерия с атомами титана, благодаря реакции термоядерного синтеза генерируются нейтроны.



Производительность источника нейтронов зависит от степени насыщения мишени тритием, а также анода и катода дейтерием.



- 1) Мишень
- 2) Анодный узел
- 3) Анод
- 4) Катод

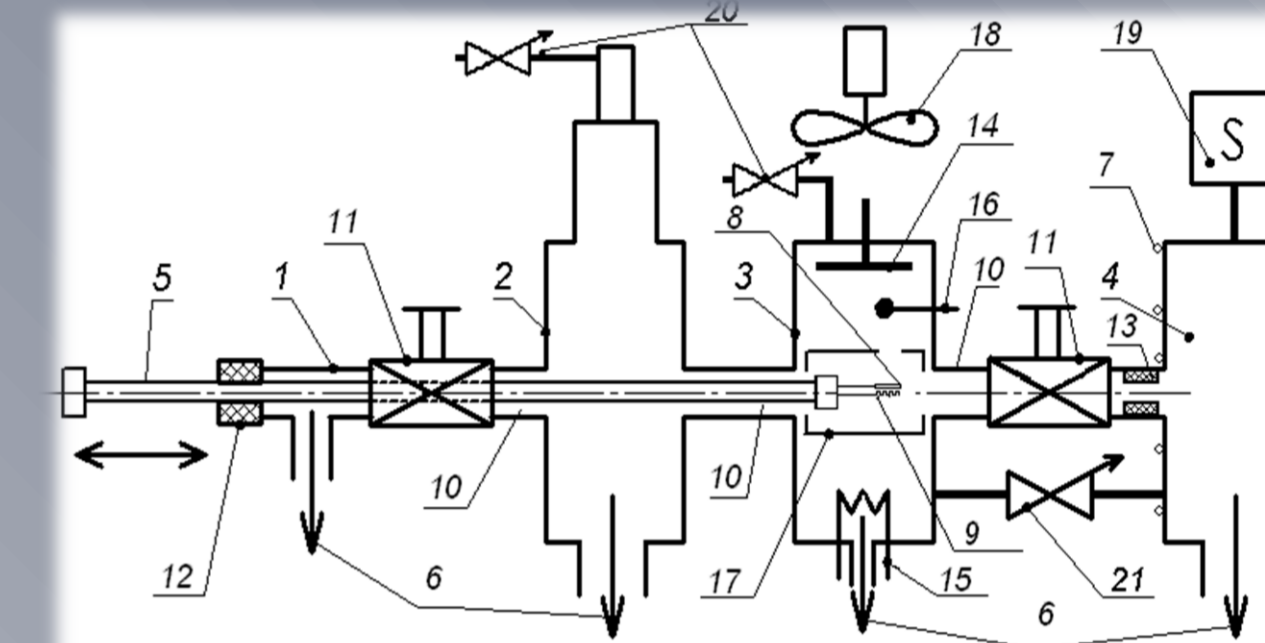


## Метод термодесорбционной спектрометрии

Метод термодесорбционного (ТДС) анализа заключается в программируемом нагреве анализируемого образца с одновременной регистрацией масс-спектрометром газов, десорбирующихся с поверхности и объема образца. Термодесорбционный спектр – зависимость скорости выхода газа от температуры образца.



## Схема экспериментальной установки "МИКМА"

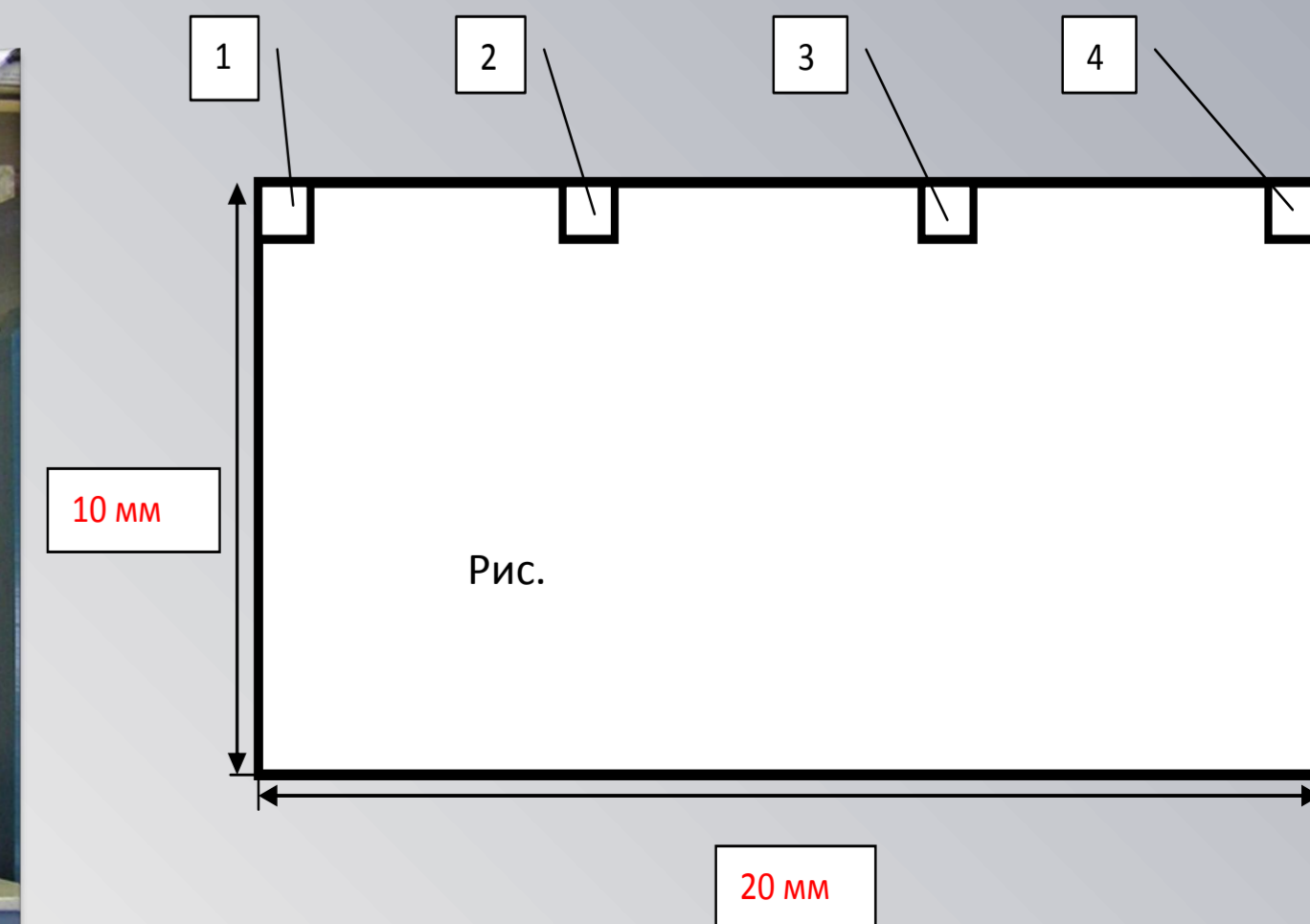


- 1) Шлюзовая камера
- 2) Камера облучения атомами и/или электронами
- 3) Плазменная камера
- 4) ТДС камера
- 5) Подвижный ввод образца
- 6) Патрубки откачки
- 7) Водяное охлаждение
- 8) Образец
- 9) Нагреватель образца
- 10) Патрубки
- 11) Проходные клапана
- 12) Уплотнение
- 13) Уплотнение
- 14) Анод
- 15) Катод

- 16) Зонд Ленгмюра
- 17) Экран
- 18) Вентилятор
- 19) Квадрупольный масс-спектрометр
- 20) Напуск газа
- 21) Линия анализа газов в плазменной камере

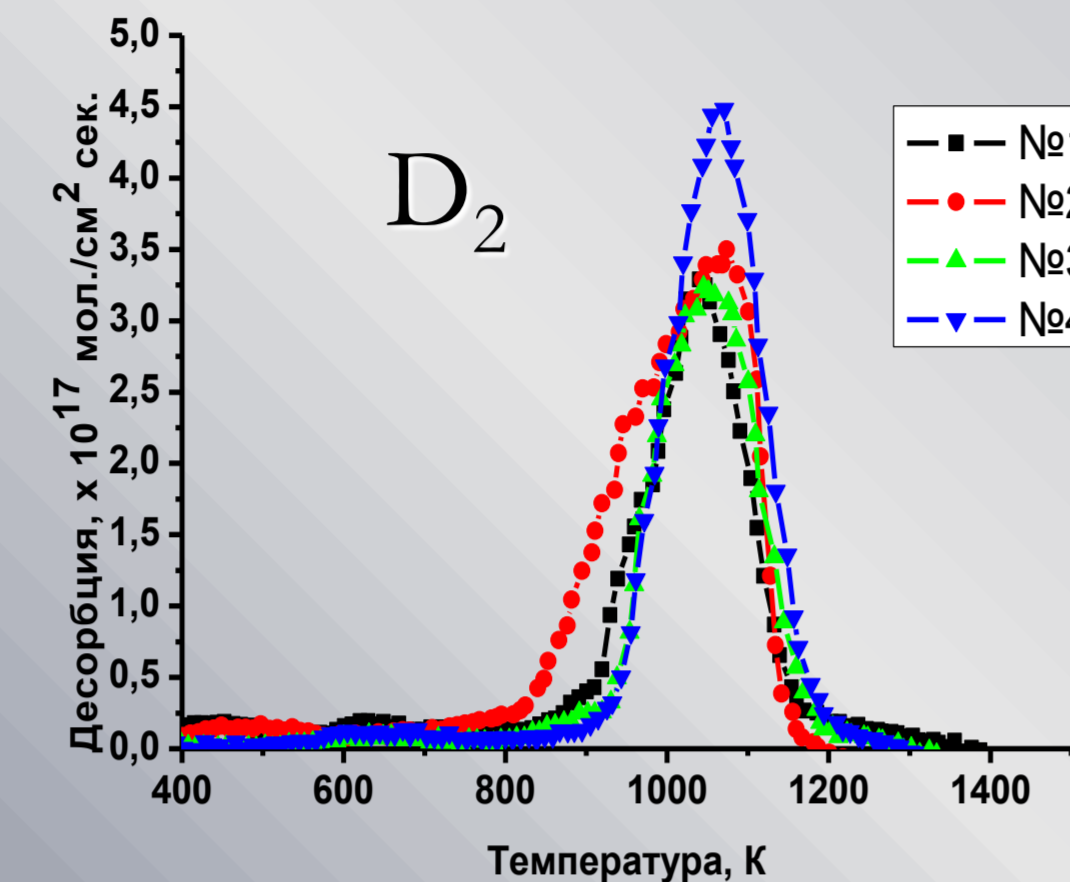
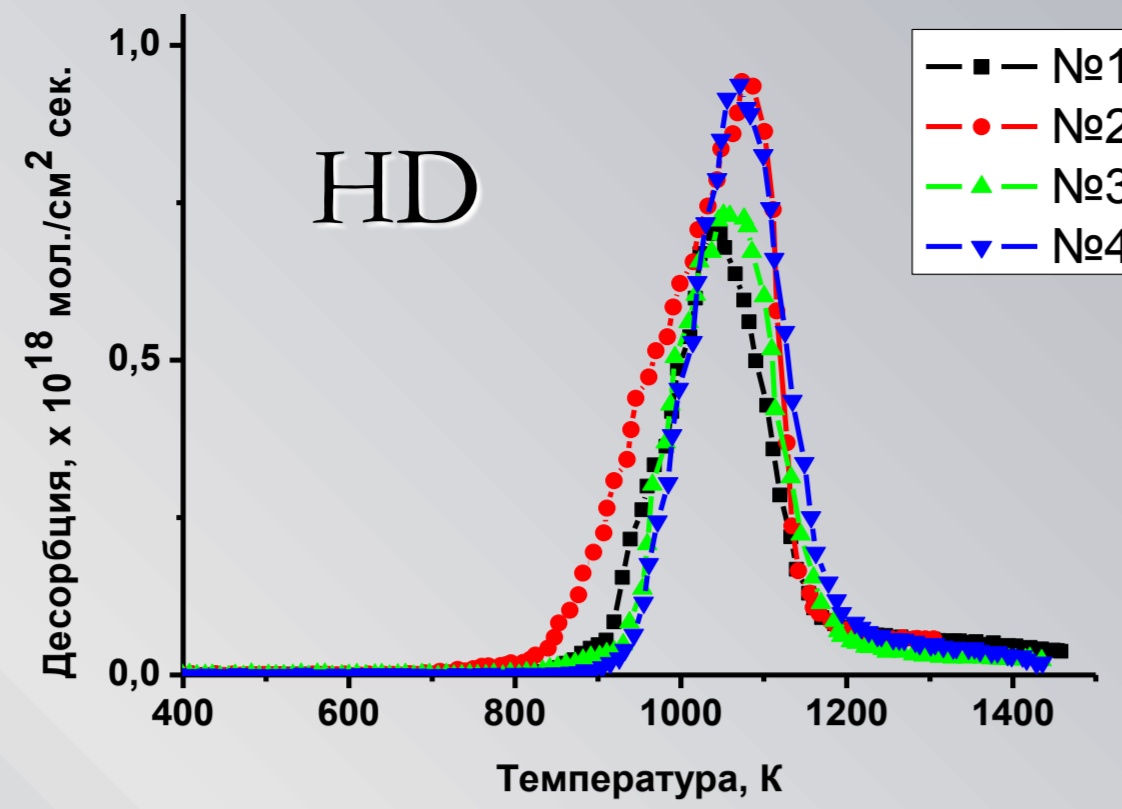
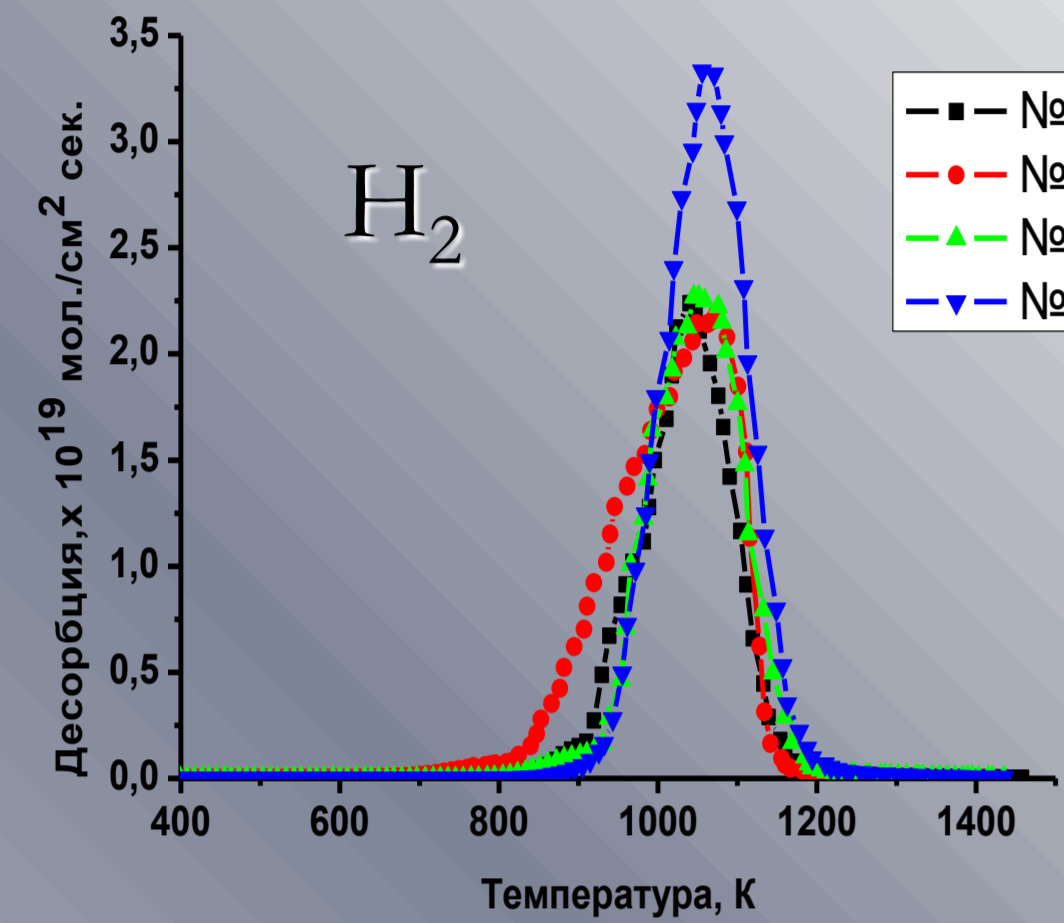
## Анод

Из фрагмента анодной пластины для проведения измерений было вырезано четыре образца из указанных мест на рис. Площади образцов составляли 2,5-3,5 мм<sup>3</sup>. Методом ТДС измерялись спектры термодесорбции дейтерия и водорода из различных областей свежеприготовленного анода.





Методом термодесорбции были получены спектры D<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и HD на различных участках анода



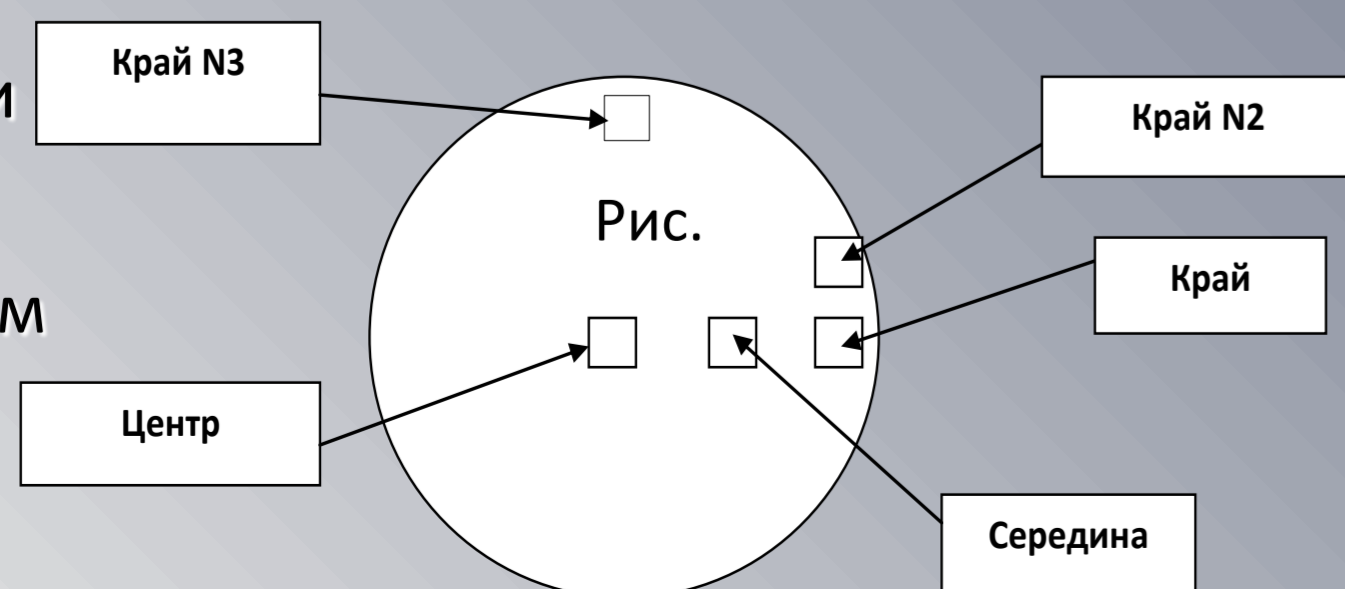
Количество газов	Участок				Среднее значение
	1	2	3	4	
Дейтерий, ат/см <sup>3</sup>	2.4x10 <sup>22</sup>	3.3 x10 <sup>22</sup>	2.8 x10 <sup>22</sup>	3.5 x10 <sup>22</sup>	3 x10 <sup>22</sup>
Водород, ат/см <sup>3</sup>	9.8 x10 <sup>20</sup>	13,0 x10 <sup>20</sup>	9,0 x10 <sup>20</sup>	9.5 x10 <sup>20</sup>	10,3 x10 <sup>20</sup>
H/(D + H)	0.04	0.04	0.03	0.03	0.035

Видно, что количество дейтерия удерживаемого после насыщения в различных участках анода значительно отличаются. Различие составляет +/- 30% от среднего значения по четырём исследованным участкам. Обеспечение одинаковой степени насыщенности, равной найденной в образце 4 (максимальная из концентраций, в исследованных образцах) по-видимому, позволит увеличить количество дейтерия (третия) в аноде на 30%.

Другая возможность увеличения степени насыщенности дейтерием связана с принятием мер по уменьшению содержания водорода в рабочем объёме в процессе процедуры насыщения. При гипотетическом полном удалении водорода увеличение количества дейтерия в аноде может составить величину, близкую к 3%.

## Мишень

Также методом ТДС исследовались мишени до насыщения дейтерием и насыщенные дейтерием мишени. Анализировались фрагменты, вырезанные из разных областей мишени (Рис.)



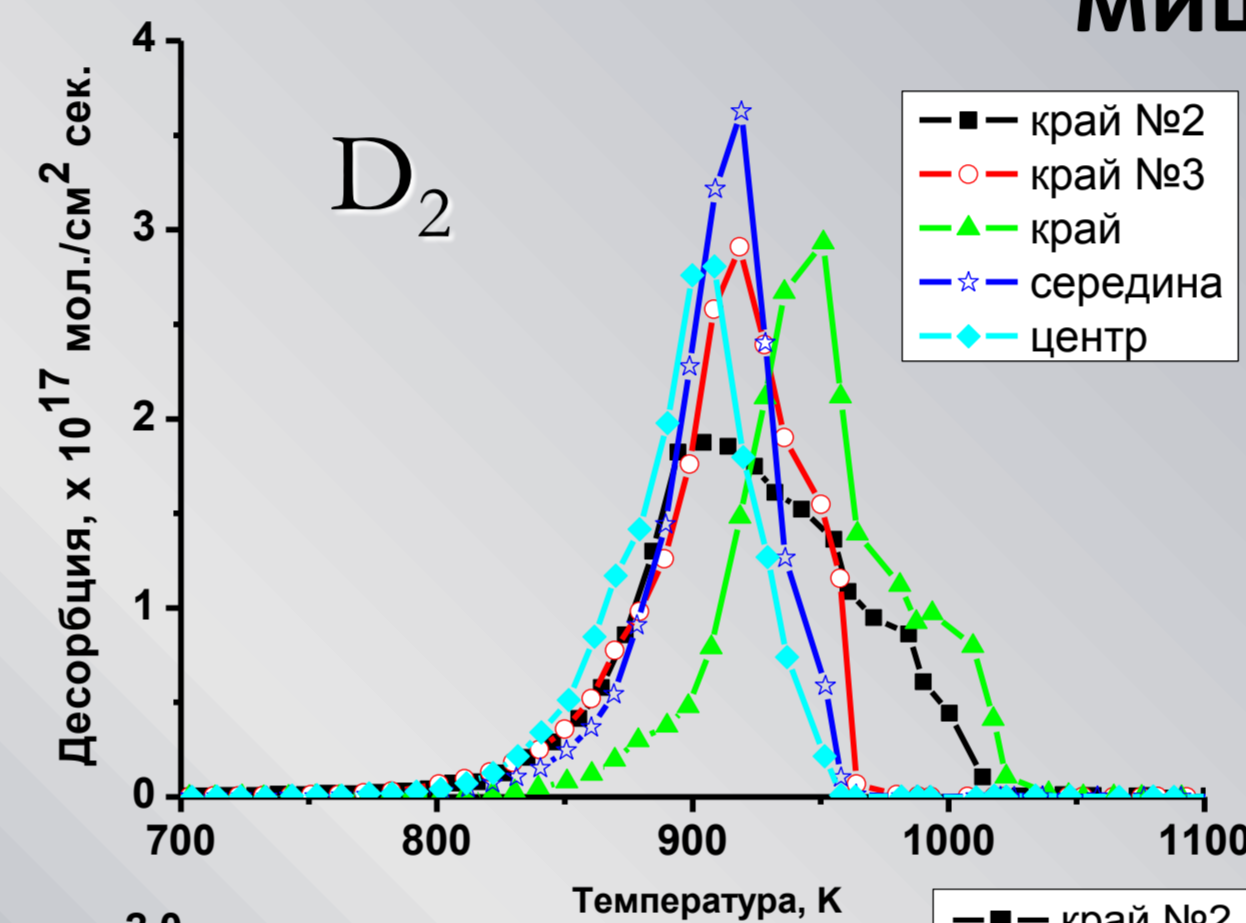
## ТДС спектр водорода (H<sub>2</sub>) дейтерированной и новой мишени



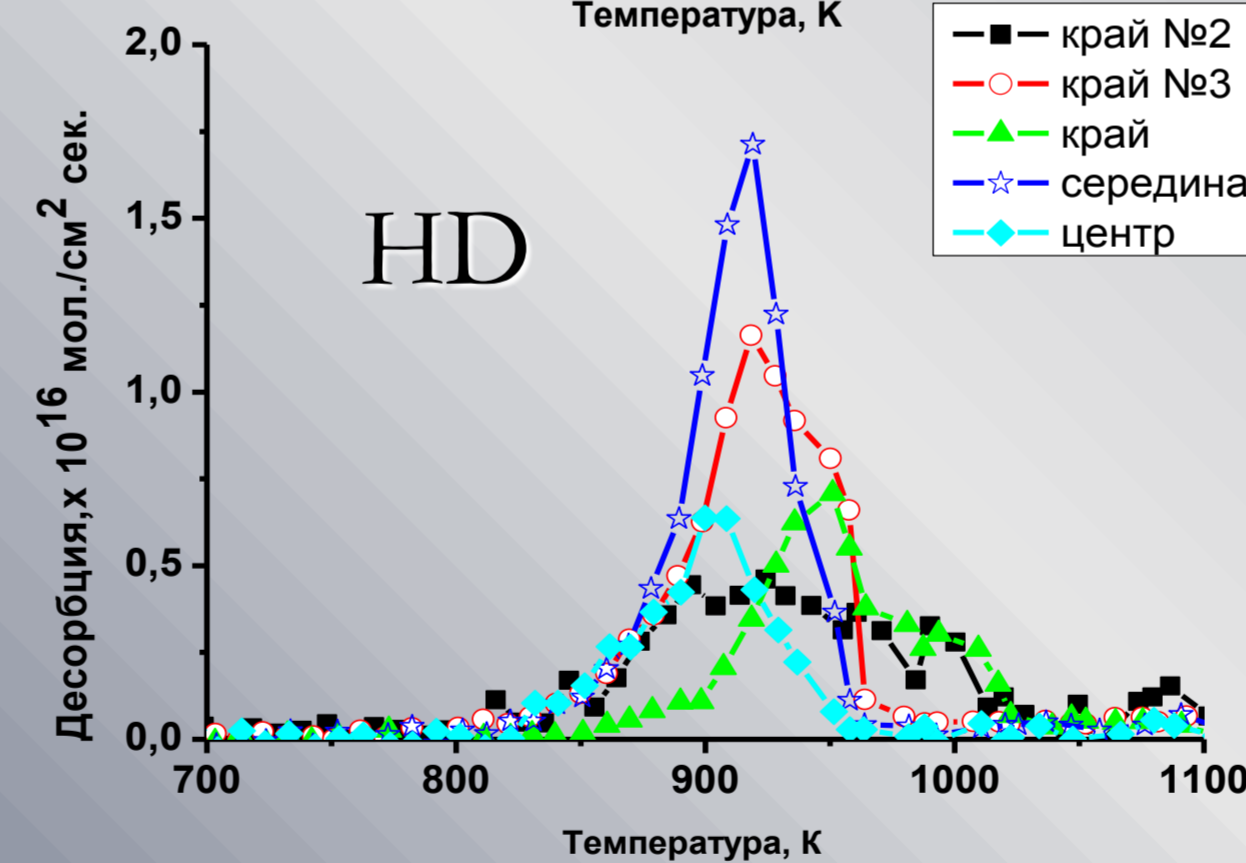
Насыщение мишени дейтерием так же сопровождалось захватом водорода. Причем большая часть захваченного водорода

аккумулировалась уже в ловушки, распадающиеся при температуре 910 К, то есть в ловушки, которые заполнялись и дейтерием

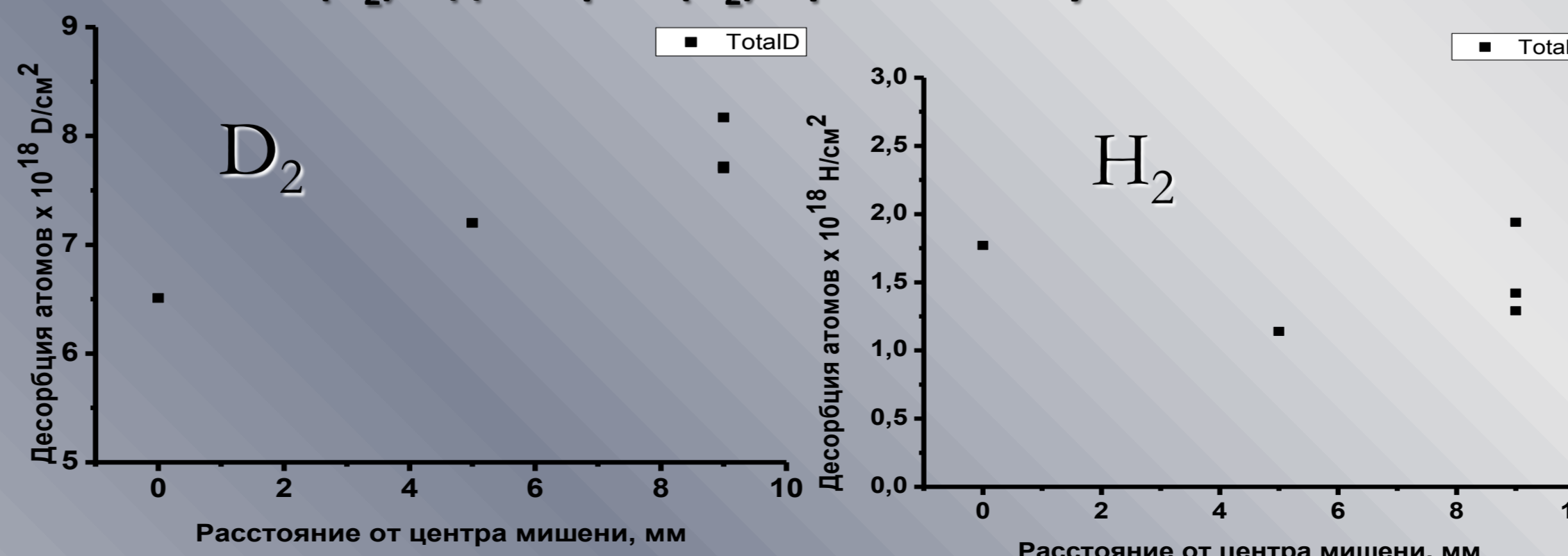
## ДС спектры D<sub>2</sub> и HD из насыщенной дейтерием мишени



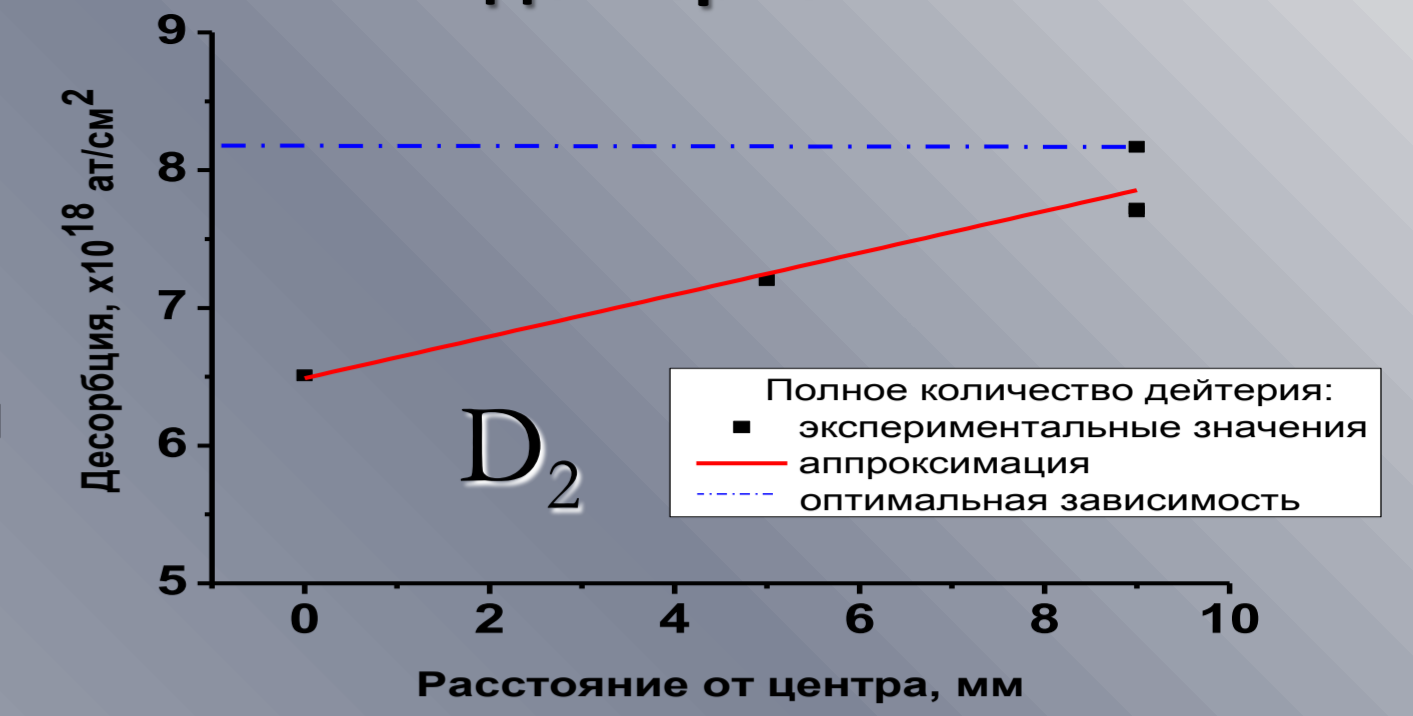
ТДС спектр дейтерия состоит из острого пика на 900 К и плеча на 975 К. Если найти такие условия насыщения, при которых весь дейтерий будет выделяться при более высокой температуре. Тогда при одной и той же мощности облучающего пучка и, следовательно, при одном и том же выходе нейтронов из мишени эмитируется меньше дейтерия. То есть, ресурс работы мишени увеличится.



## Обработка спектров позволила определить количество водорода (H<sub>2</sub>) и дейтерия (D<sub>2</sub>) в различных участках мишени



## Анализ степени насыщения мишени дейтерием



Расчет полного количества дейтерия в мишени привёл к результату 1,9x10<sup>19</sup> ат. При оптимальных условиях насыщения, то есть при обеспечении равномерного по радиусу распределения, содержание дейтерия в мишени (рис.) можно увеличить до ~2x10<sup>19</sup> ат. Таким образом, можно повысить концентрацию дейтерия в мишени на ~6 %.

Аналогичный расчёт показал, что после насыщения дейтерием в мишени оказалось 3,8x10<sup>18</sup> ат. водорода, что составляет примерно 3 %. Можно считать, что предотвращение попадания водорода в мишень в процессе насыщения, безусловно, заметный резерв повышения степени её насыщения дейтерием.

## Заключение

### Способы увеличения насыщения дейтерием титановой мишени:

- 1) Насыщение дейтерием мишеней и электродов разрядного промежутка в безводородных условиях.
- 2) Повышение концентрации рабочего газа во всех участках мишени и электродов разрядного промежутка до максимальных значений, обнаруженных в модельных образцах в мишени и анода.
- 3) Бесполезные потери дейтерия мишенью в результате десорбции при её нагреве в процессе облучения дейтериевым пучком можно уменьшить, если повысить температуру термодесорбции дейтерия из всех участков мишени до максимальных из наблюдаемых величин. Это приведёт к увеличению срока службы источника.

### Список литературы:

Г. И. Применко, В. И. Стрижак, И. Чикаи, Т. Старичкаи «14 МэВ Нейтроны – пути увеличения выхода нейтронов и стабильности его во времени» - Известие вузов, Физика, вып. 5, 1988.