

# Системы напуска газа

Полосаткин Сергей Викторович, тел.47-73

<http://www.inp.nsk.su/students/plasma/sk/tpe.ru.shtml>

# Системы напуска газа

Обеспечивает напуск газа для создания плазмы с требуемой плотностью

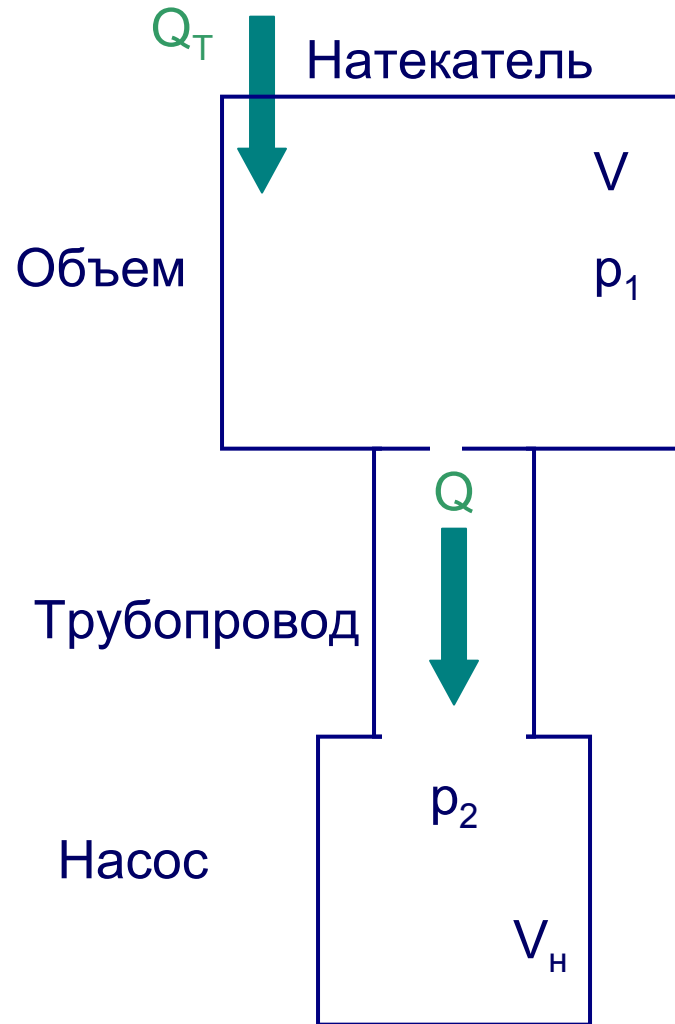
-в закрытом состоянии не должна нарушать вакуум

-обеспечивать изменение давления в широком диапазоне (несколько порядков)

Системы стационарного и импульсного напуска

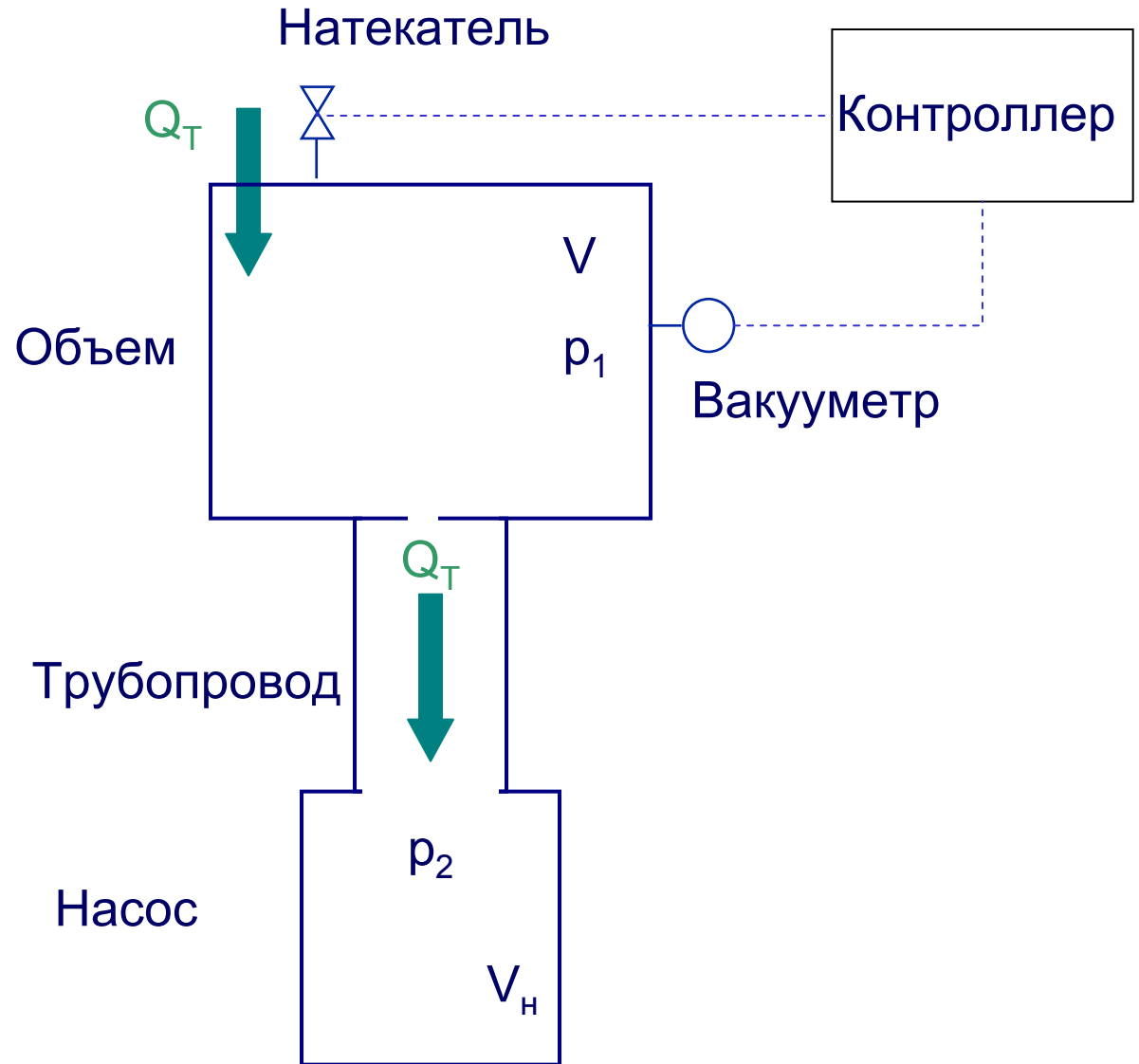
# Контроль концентрации газа

$$p = \frac{Q_T}{S}$$



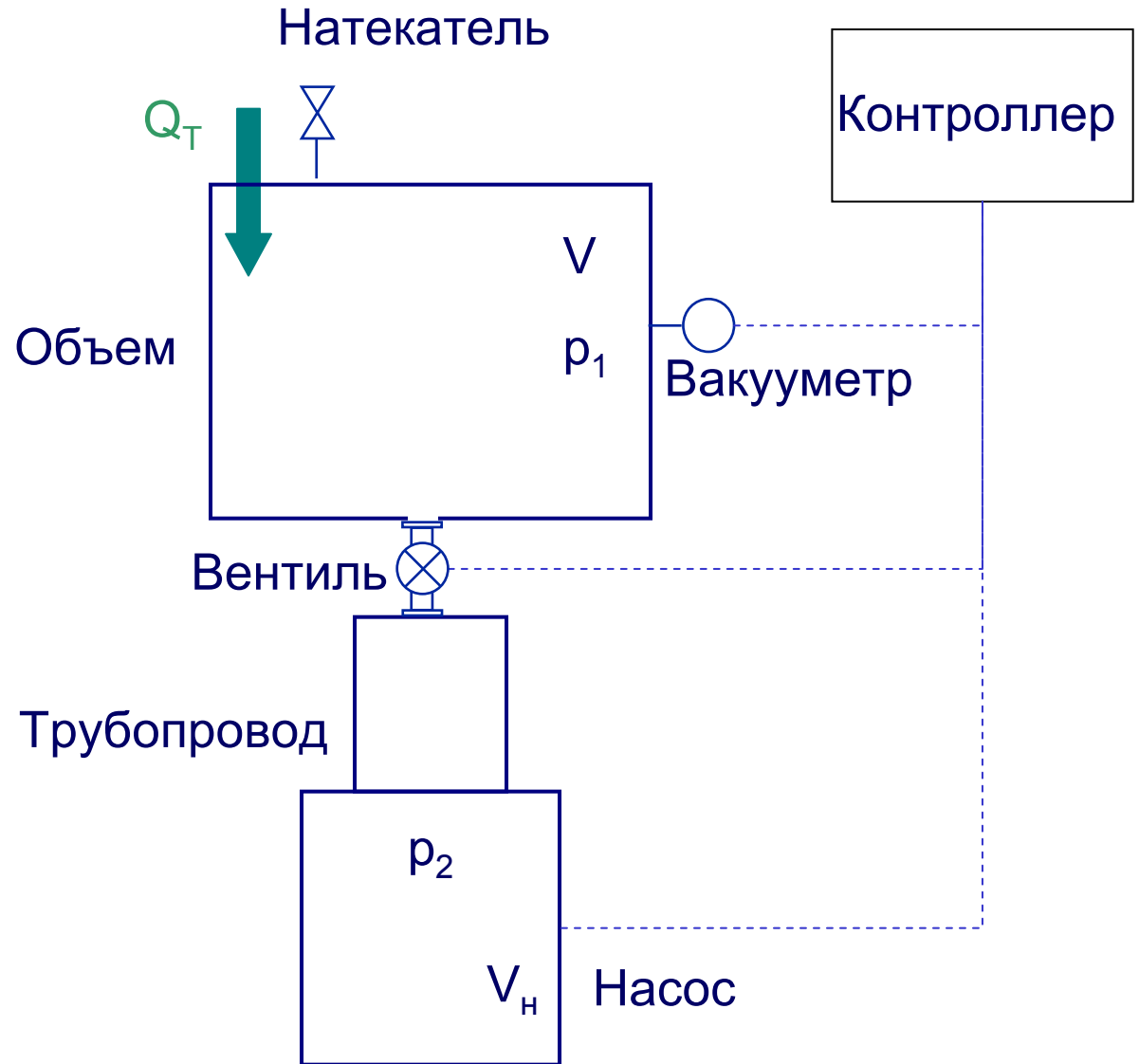
# Контроль концентрации газа

$$p = \frac{Q_T}{S}$$



# Контроль концентрации газа

$$p = \frac{Q_T}{S}$$



# Стационарный напуск (натекатели)

## Механические

### Игольчатый

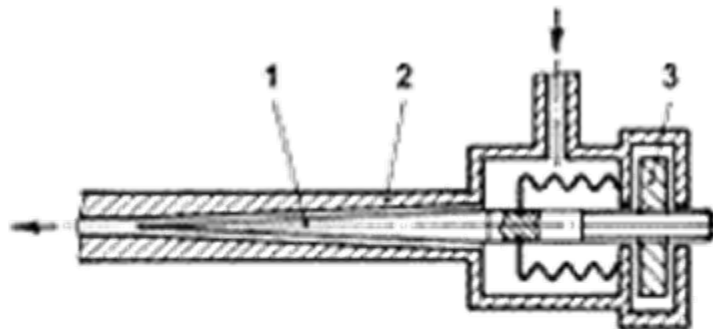


Рис.1. Игольчатый натекатель [8]: 1 - тонкая стальная игла с углом  $2-6^\circ$ , 2 - седло, 3 - винтовой механизм дифференциальной подачи.

### Щелевой

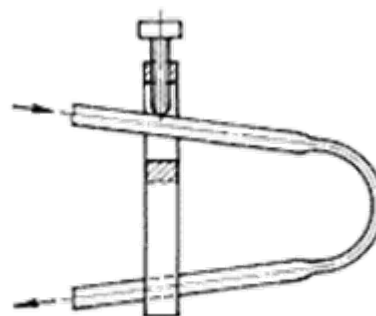


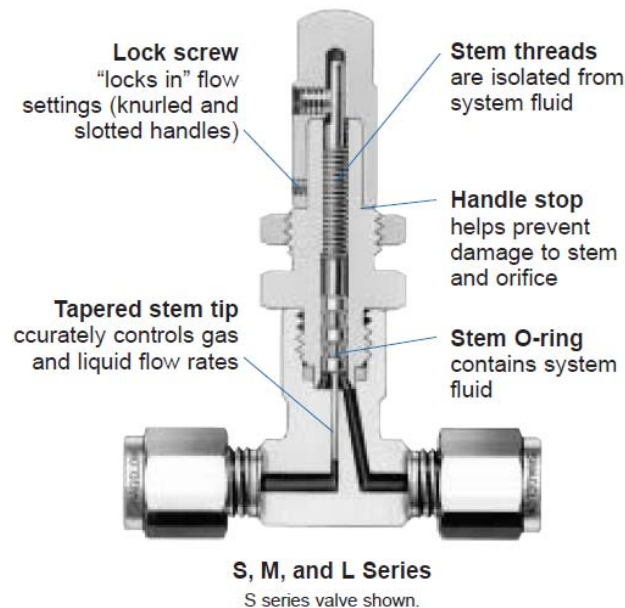
Рис.3. Щелевой натекатель [7].

Условное отверстие 1,2 мм – мин.поток  $3 \cdot 10^{-4}$  л·Па/с

Недостатки: сложность изготовления, нестабильность, люфт

# Стационарный напуск (натекатели)

## Swagelok



## Параметры:

$$C_v = 0.004 - 0.15$$

$$D = 0.1 - 3 \text{ мм}$$

$D$  – эффективный диаметр отверстия

$C_v$  – поток воды US галлоны/мин при перепаде давления 1 PSI

$$Q_{[\text{л/мин}]} = 3273 \cdot C_v \cdot P_{[\text{бар}]} \cdot \sqrt{\frac{28}{A \cdot T}}$$

$$Q_{[\text{л/мин}]} = 240 \cdot D_{[\text{мм}]}^2 \cdot P_{[\text{бар}]} \cdot \sqrt{\frac{28}{A \cdot T}}$$

$A$  – молярная масса газа

## Диффузионные натекатели

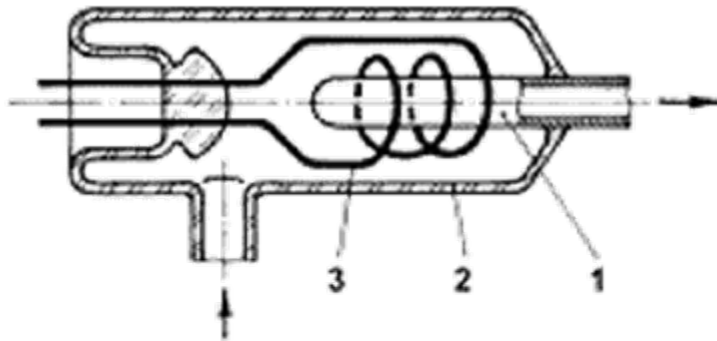
Избирательная проницаемость материалов для различных газов

Водород – палладий, палладий-серебро

Кислород - серебро

Гелий – кварц, пирекс

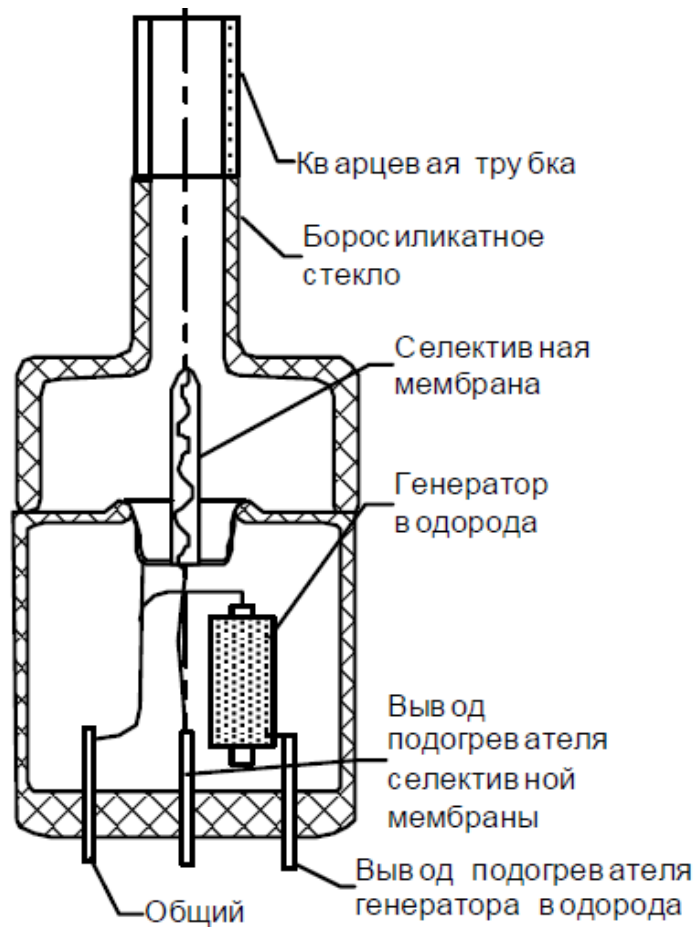
Азот - железо



*Рис. 7. Термодиффузионный натекатель [10]: 1- палладиевая трубка, 2- стеклянный баллон, 3- нагреватель.*



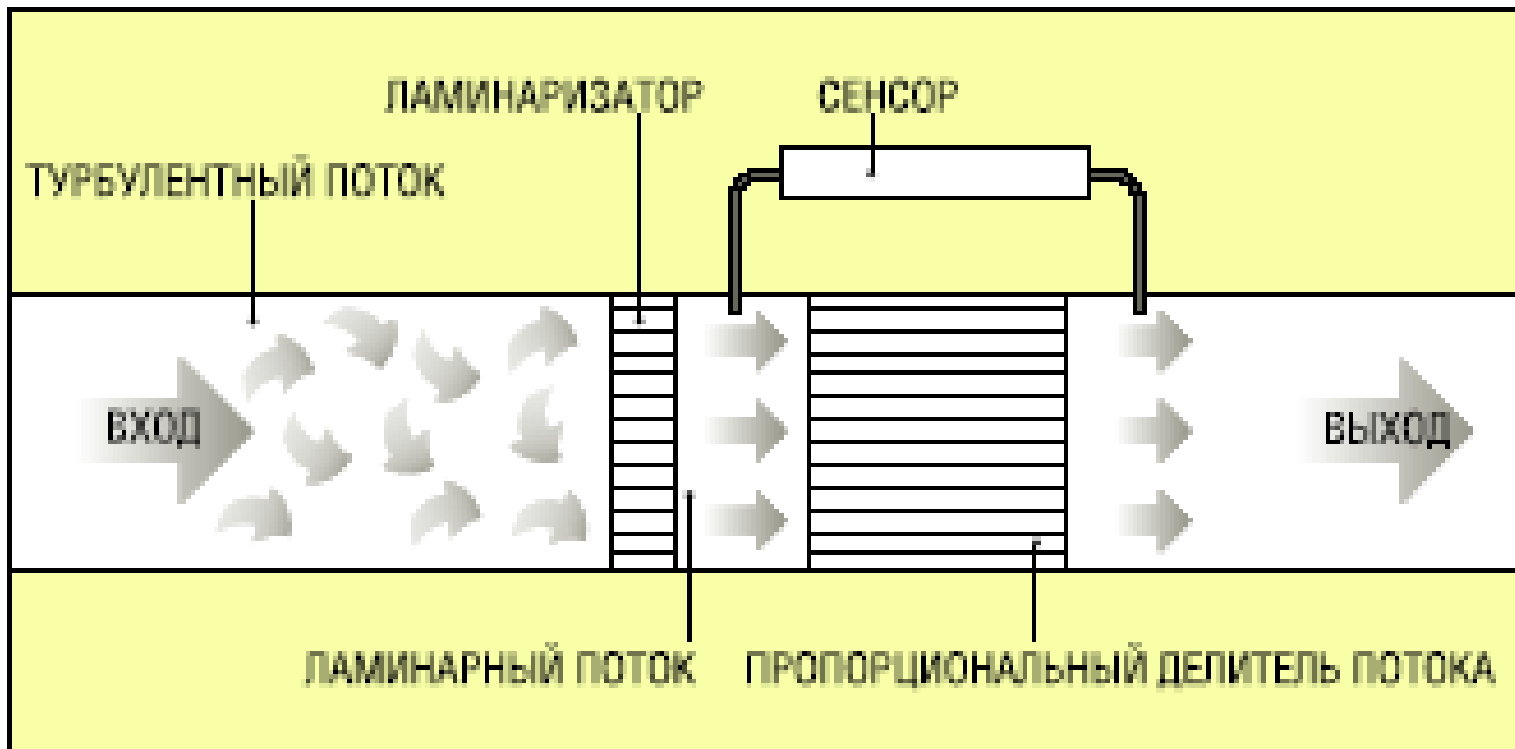
## Селективный реверсируемый натекаТЕЛЬ водорода



$\sim 10^{16}$  атомов/с  
(0,05 ст.см<sup>3</sup>/мин)

## Mass-flow controller

Контролируемый поток газа в камеру



Поток 0-10 ст.см<sup>3</sup>/мин

# Mass-flow controller

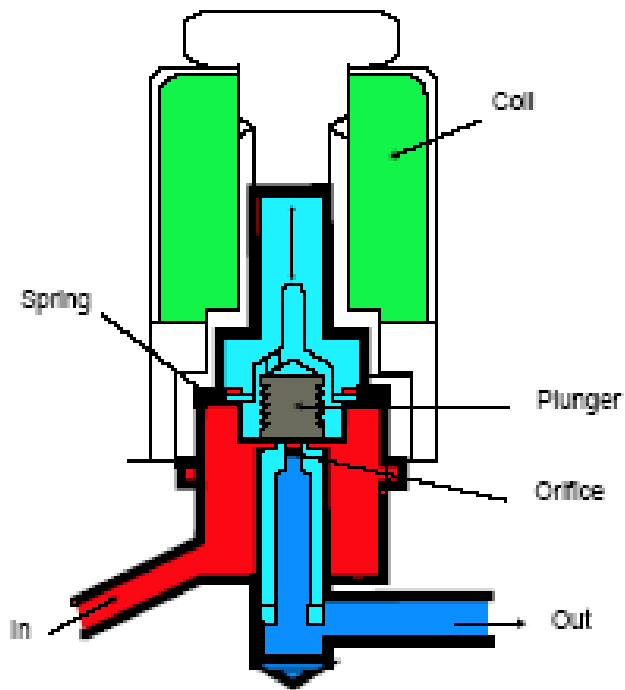


Figure 7. Cross-section of a flow control valve.



EL-FLOW digital MFC

# Импульсный напуск газа

## Импульсные клапаны:

-термодиффузионные

-электромагнитные

-электродинамические

-пьезоэлектрические

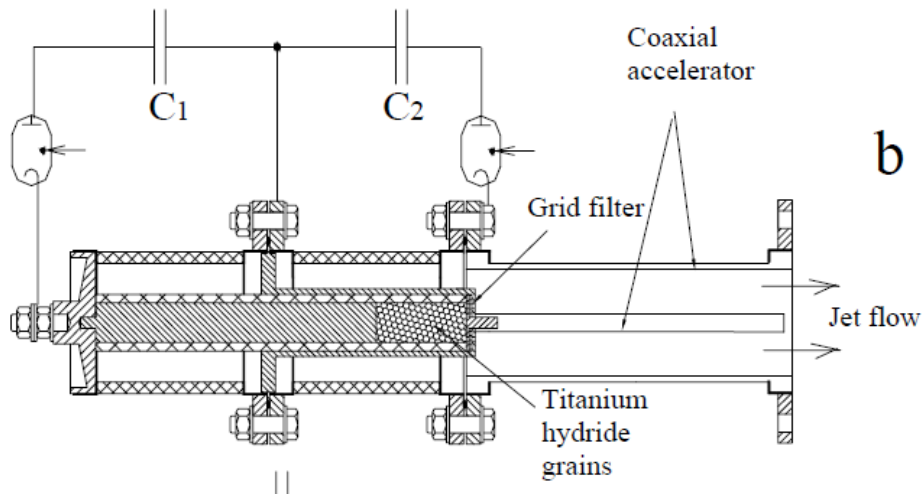
# Импульсный напуск газа

термодиффузионные клапаны – на основе палладиевых натекателей

Быстрый нагрев – до  $10^{19}$  атомов водорода,  
скорость нарастания 1 мс

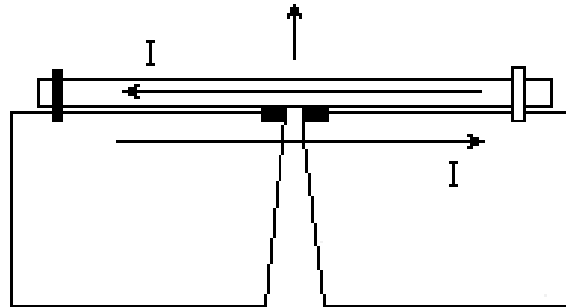
Нагрев титанового порошка

$\sim 10^{19} - 10^{20}$  атомов 50 мкс

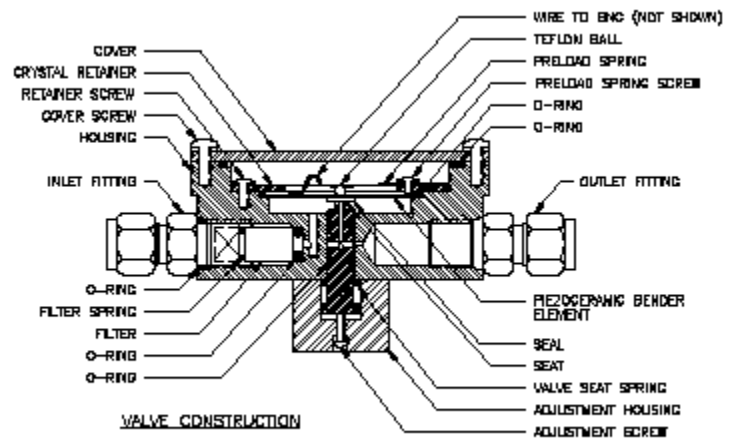


# Импульсный напуск газа

Электродинамические клапаны  $t \sim 10$  мкс



Пьезоэлектрические клапаны 0,02 – 500 ст.см<sup>3</sup>/мин



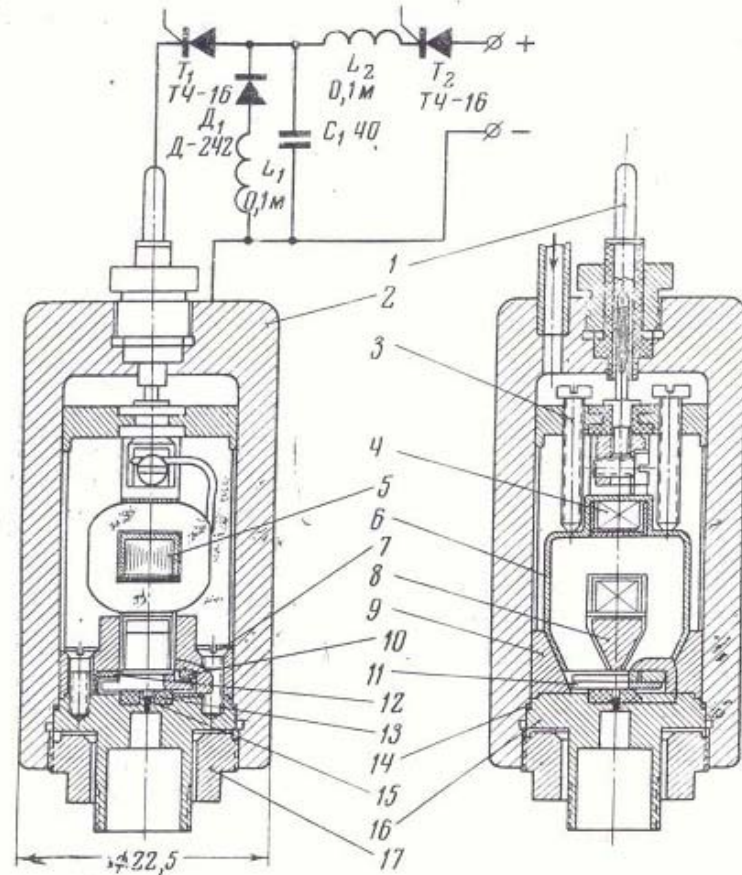
# Импульсный напуск газа

## Электромагнитные клапаны

Параметры:

-ток открывания

-ток удержания



Конструкция затвора. 1 — ввод; 2 — корпус; 3 — винт прижимной; 4 — катушка; 5 — магнитопровод; 6 — экран; 7 — винт; 8 — вкладыш; 9 — обойма; 10 — возвратная шайба; 11 — якорь; 12 — упор; 13 — седло; 14 — прокладка; 15 — дозирующее отверстие; 16 — основание; 17 — гайка

Деревянкин Г., Дудников В., Журавлев П. Электромагнитный затвор для импульсного напуска газа. // ПТЭ— 1983— N.5.—С.168.

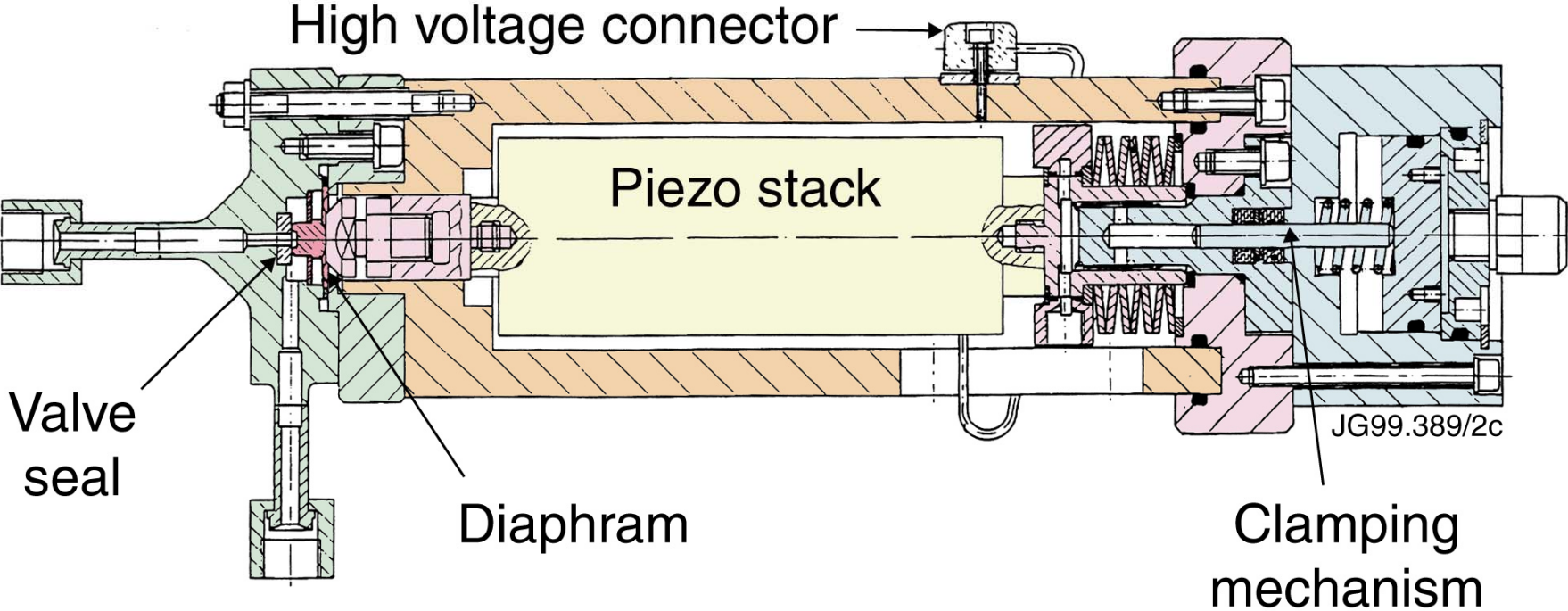
## Импульсный напуск газа

Электромагнитные (соленоидальные) клапаны Predyne  
время срабатывания 5-10 мс

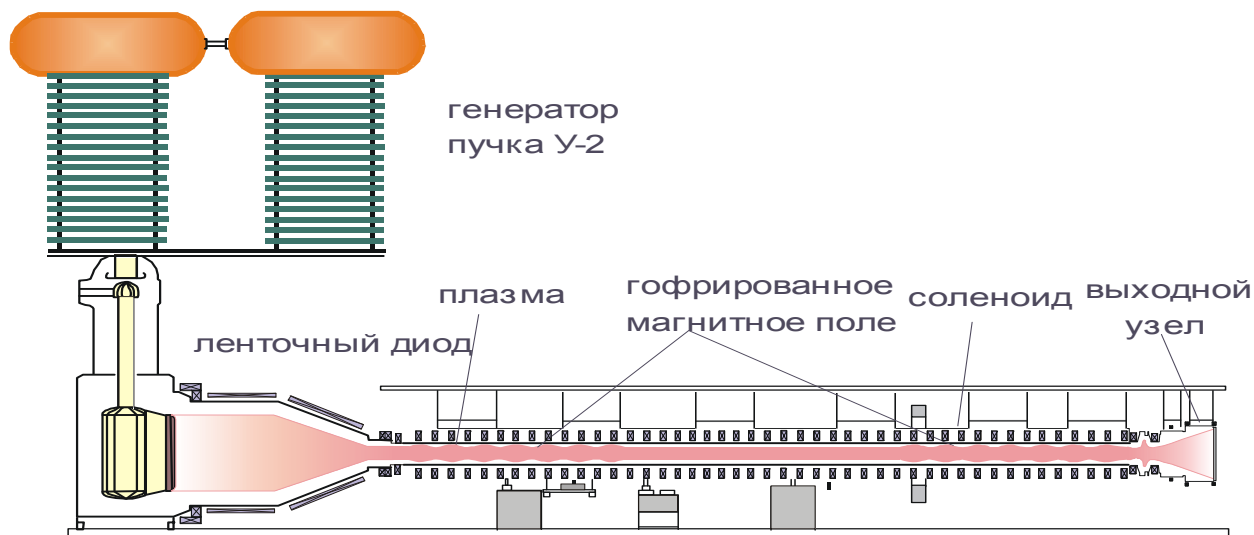
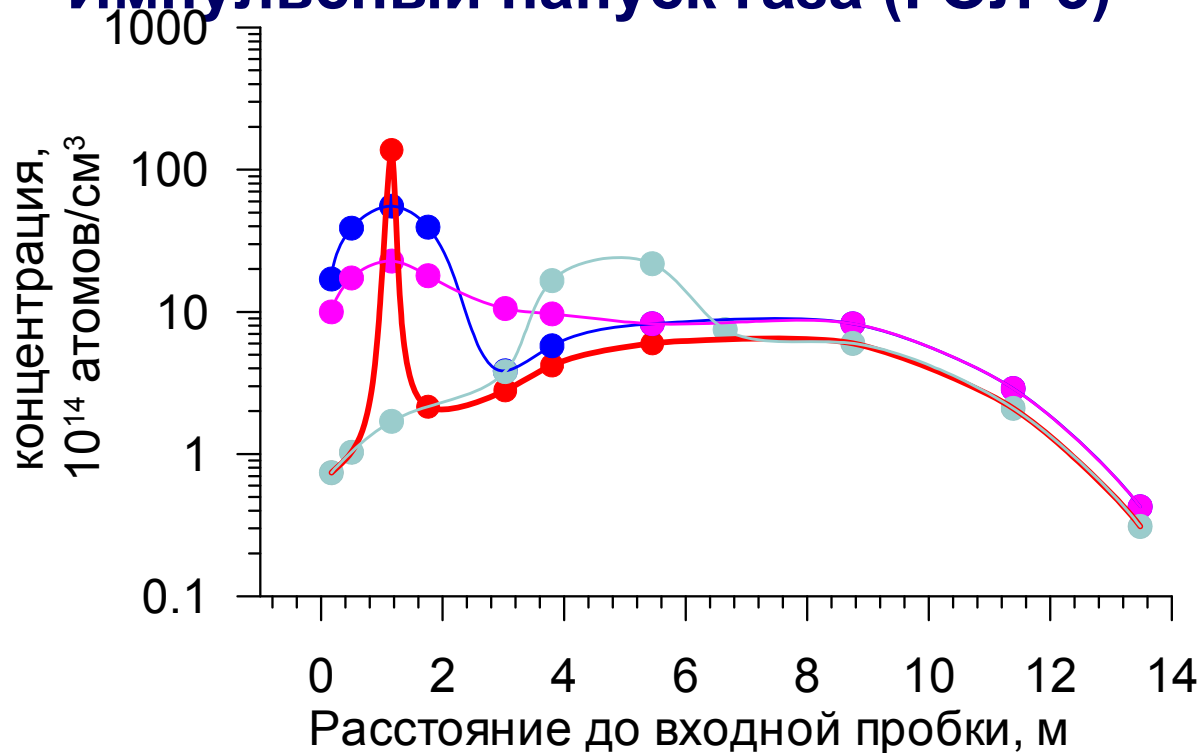


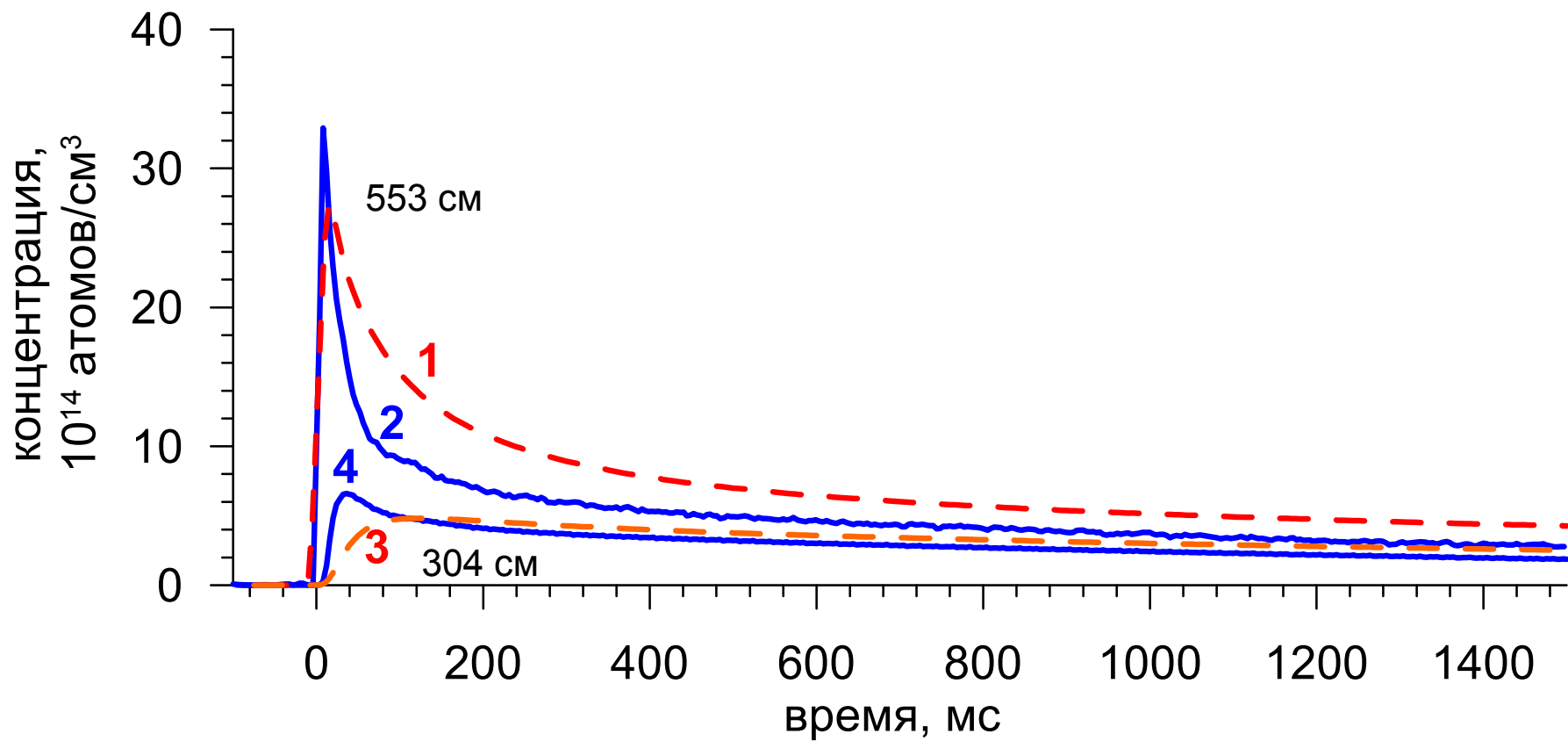


# Peizo Valve



# Импульсный напуск газа (ГОЛ-3)



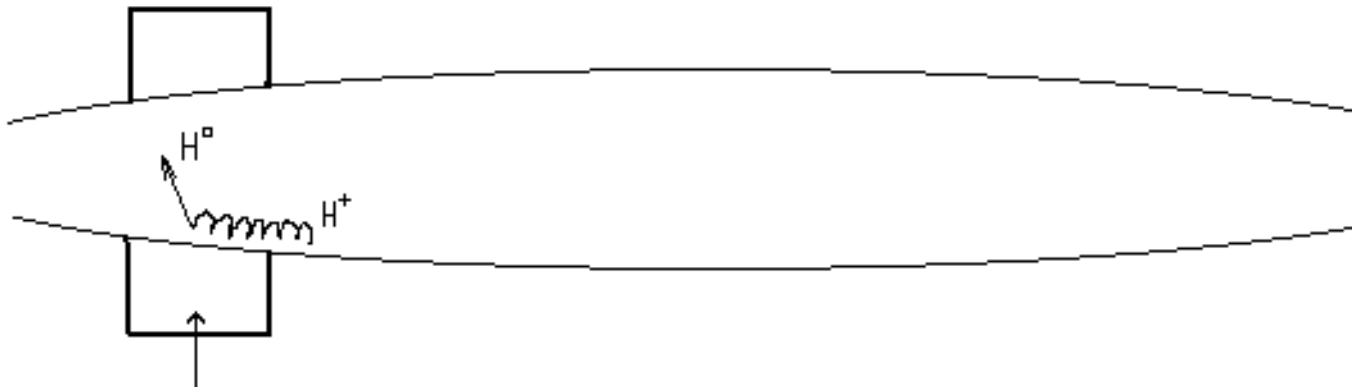


# Напуск газа (ГДЛ)

Напуск газа на ось – кварцевая трубка

Газовая коробка (gas box)

При диссоциации молекулы водорода – Франк-Кондоновские атомы ( $E \sim 3$  эВ)



# Системы распределения газа

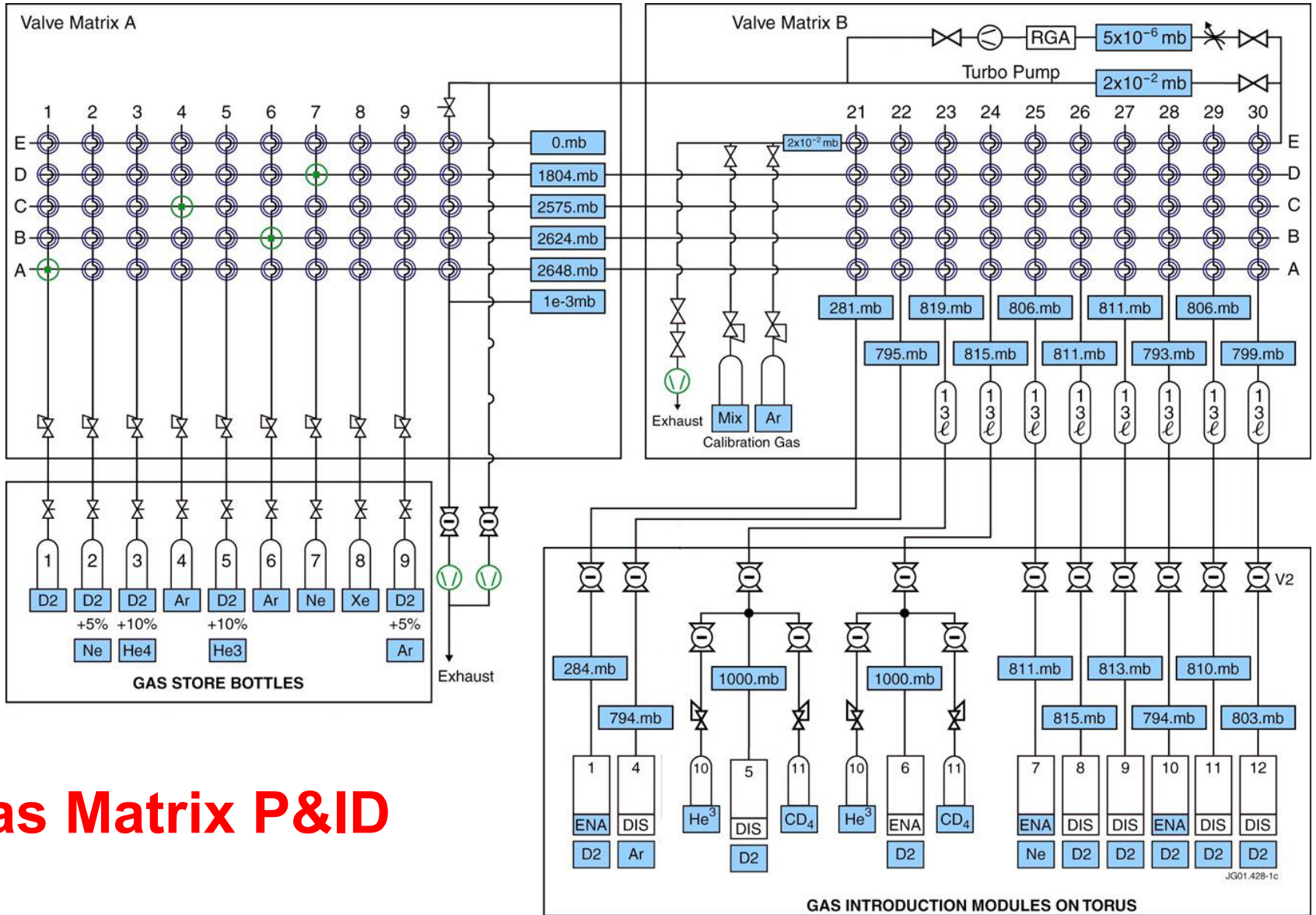
Часть газовой системы нейтрального инжектора  
(Swagelok)



Газовые шкафы  
(Norcimbus)



# Напуск газа (JET)



**Gas Matrix P&ID**

## Эффективность напуска

Device	Gas Fuelling Efficiency (%)	Pellet Fuelling Efficiency (%)	Remarks
ASDEX	20	30-100	high density
PDX	10-15		high density
Tore Supra	1	30-100	ergodic divertor for gas fuelling
JET	2-10	20-90	active divertor
JT-60			
JT-60U			
TFTR	15		low density DT
ASDEX-U		8-40	
DIII-D	10	40-100	active divertor

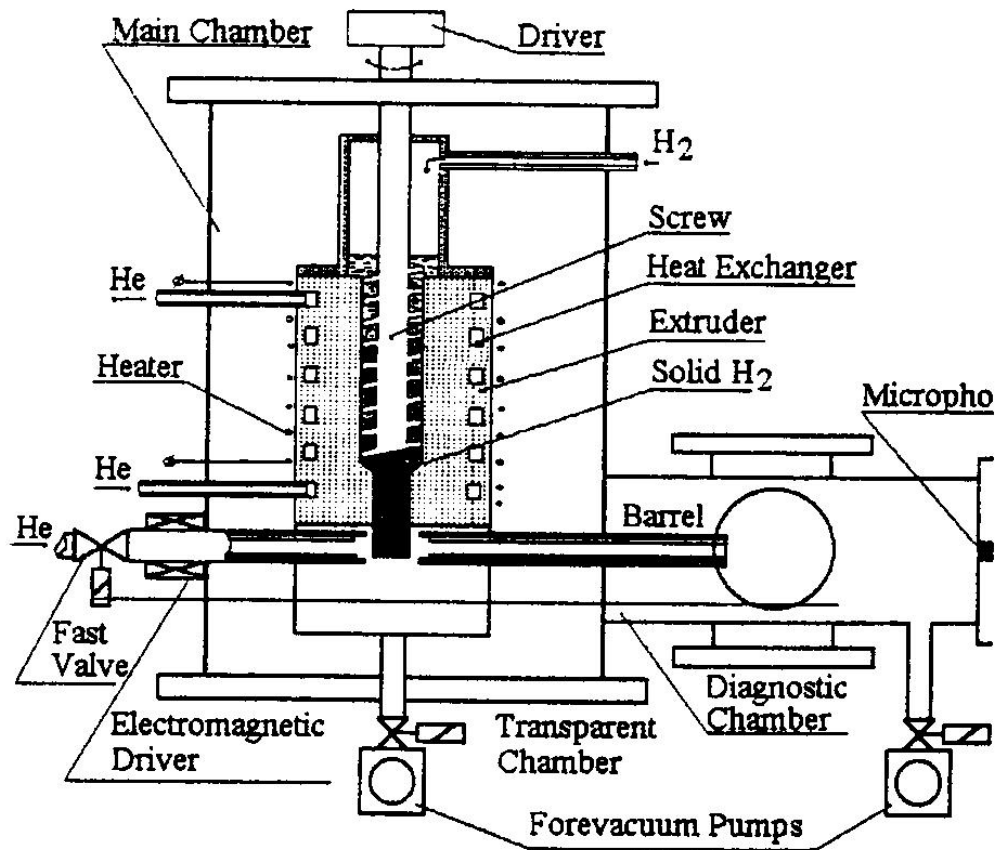
Для больших установок эффективный метод – пеллет-инжекция



# Пеллет-инжекция

Водородные таблетки (пеллеты) замораживаются при  $T=4$  К, вырезаются и инжектируются в плазму

$V_{inj}$  – до 5 км/с, 0,26 г/с





# Правила работы со сжатыми газами

Баллон 40 л 150 атм = 600 кДж !!!

ПБ 03-576-03 - Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением

!!! Не распространяются на:

сосуды вместимостью не более 25 л независимо от давления, используемые для научно-экспериментальных целей.

## Водород – горючий и взрывоопасный

НПБ 105-03 – Нормы пожарной безопасности

Правила устройства электроустановок потребителей

ПБ 03-598-03 – Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза воды

Доп. требования к помещению и электрооборудованию

Оборудование – по IP40, освещение IP58