

УДК 53.01

Импульсные аналоги кавитационных систем

О. Б. Хаврошкин

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Предложена модель лабораторного устройства — прямого аналога кавитационной полости на стадии схлопывания.

PACS: 65.20.-w

Введение

Значительная часть исследователей по ультразвуковому (УЗ) свечению и сонолюминесценции (СЛ) не сомневаются в ключевой роли сходящихся ударных волн, возникающих при запуске термоядерных реакций на заключительной стадии схлопывающегося кавитационного пузырька. При этом при развитии гидродинамических неустойчивостей и распаде первичного пузырька на фрагменты для некоторых из вновь образовавшихся неустойчивостей проблема сингулярности остается быть [1]. Возможно параллельно в плотной плазме возникнут локальные сильно турбулизованные объемы. Их существование будет сопровождаться в микромасштабе эффектом Ранка, когда внутри вихревой трубки создается градиент температур и происходит пространственное вдоль оси вращения разделение массы по температуре с разностью в несколько порядков по величине.

Кавитационный зародыш чистой воды при прочих равных условиях возникает на структурных неоднородностях — в основном на D_2O и в незначительных количествах (следы) — на D_2O и T_2O . Отметим, что до сих пор отсутствуют исследования по поведению тепловых и холодных нейтронов как компонентов природного нейтронного фона Земли в воде при УЗ-кавитации. Перечисленные особенности схлопывающейся кавитационной полости лежат в основе термоядерной модели (ТМ) СЛ.

Варианты и типы аналогов

Переход на физическое моделирование запуска термоядерных реакций на аналогах заключительной стадии схлопывающейся кавитационной полости лабораторных масштабов должен отвечать следующим условиям:

высокая плотность вещества ($1\text{--}10\text{ г/см}^3$) и давление (10^6 атм) в плазме ударной волны;

гиперзвуковые скорости ударной волны перед моментом схлопывания или торможения, сопровождающиеся скачком температуры ($10^6\text{--}16^7\text{ К}$);

значительный процент D в плазме;

следы T ;

высокий нейтронный фон или источник нейтронов.

Известны разделы экспериментальной физики и техники, где созданы системы или устройства, частично или полностью удовлетворяющие этим условиям, за исключением содержания D , T и нейтронных источников.

Полвека назад была создана простая установка одноразового действия (кумулятивный взрыв), способная выбрасывать тонкую струйку металла (плотной плазмы) со скоростью 90 км/с . Соответственно при лобовом столкновении таких потоков плазмы от двойного заряда относительная скорость частиц составит 180 км/с (рис. 1). На основе взрывчатых веществ (ВВ) возможно и прямое копирование схлопывающегося пузырька. Введение D в такой поток плазмы, например через деутерирование пористой титановой облицовки, обеспечит запуск термоядерных реакций при столкновении кумулятивных струй или потоков плазмы. Большинство типов ВВ созданы на соединениях со значительным содержанием водорода, азота с добавками титана, нитратов металлов щелочной группы (следовательно, и Li), перхлората Li , азиды Li , а также Be и V . Указанные компоненты фигурируют и в таблице* "Экзоэнергетические реакции между легкими ядрами". Скорость кумулятивных струй во многом зависит от скорости детонации и плотности ВВ, поэтому переход на ВВ с заменой H_2 на D_2 только увеличит скорость последних. В исследованиях Ю. Киселева и В. Адушкина показано [7, 8], что заполнение цилиндрической выемки заряда ВВ титановыми трубочками позволяет получить поток плотной плазмы со скоростью $50\text{--}60\text{ км/с}$. С учетом вышеизложенного и принимая модель кавитации, описанную в ТМ СЛ, можно предложить несколько конструктивных схем устройств, работающих в импульсном одноразовом режиме, для запуска термоядерных реакций. Принципы работы устройств достаточно ясно представлены на схемах (рис. 2—11), а работа и основные узлы конструкций даны в подписях к рисункам.

* Журнал "Прикладная физика". 2007. № 5. С. 11.

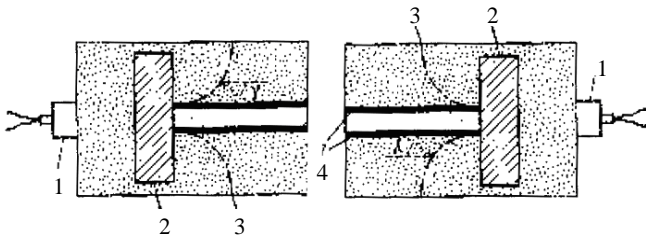


Рис. 1. Схема двойного кумулятивного заряда с цилиндрическими выемками и облицовками (по Беляеву):

1 — детонатор; 2 — экран из инертного материала; 3 — фронт детонационной волны в некоторый промежуточный момент; 4 — облицовка

Рис. 2. Устройство для запуска термоядерных реакций двухстадийного ускорения-торможения: I, II — секции устройства, формирующие осевые встречные потоки плазмы:

1 — титановые, насыщенные дейтерием трубки центральной осевой зоны; 2 — титановые дейтерированные трубки периферийной кольцевой зоны; 3 — ВВ внутреннего кольцевого заряда; 4 — ВВ внешнего кольцевого заряда; 5 — кумулятивный кольцевой замок для внешнего диска потока плазмы второй стадии ускорения; 6 — профилированная часть внешнего корпуса замка 5; 7 — внешний корпус устройства; 8 — днище внешнего корпуса 7; 9 — заряд ВВ кумулятивного замка 5; 10 — титановая дейтерированная облицовка заряда ВВ 9; 11 — донный профилированный заряд ВВ модульного типа; 12 — кумулятивные модули-замки, соосные с трубками 1, 2...; 13 — дейтерированная двухслойная облицовка замков 12

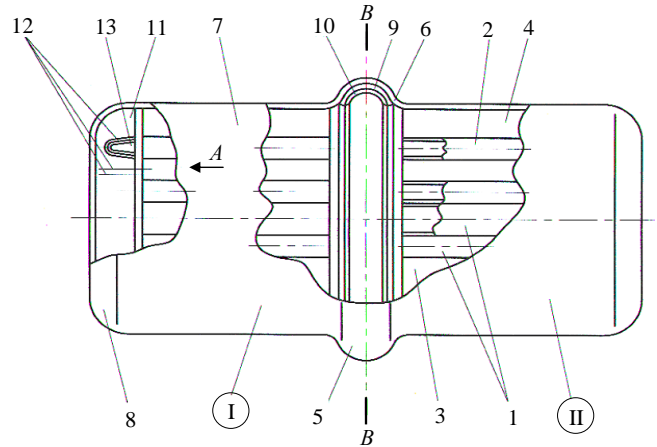


Рис. 3. Устройство для запуска термоядерных реакций двухстадийного ускорения-торможения (см. сечение В-В рис. 2):

1 — титановые насыщенные дейтерием трубки центральной осевой зоны; 2 — титановые дейтерированные трубки периферийной кольцевой зон; 3 — ВВ внутреннего кольцевого заряда; 4 — ВВ внешнего кольцевого заряда; 5 — кумулятивный кольцевой замок для внешнего диска потока плазмы второй стадии ускорения; 6 — профилированная часть внешнего корпуса замка 5; 9 — заряд ВВ кумулятивного замка 5; 10 — титановая дейтерированная облицовка заряда ВВ 9; 14 — центральный цилиндрический объем для размещения дейтерированных трубок; 15 — кольцевой объем для размещения дейтерированных титановых трубок

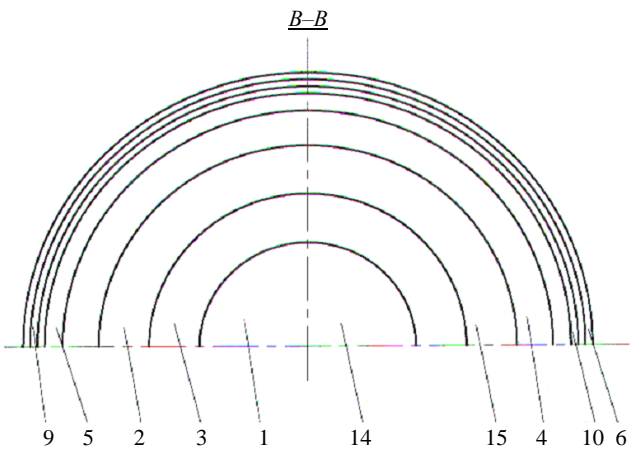
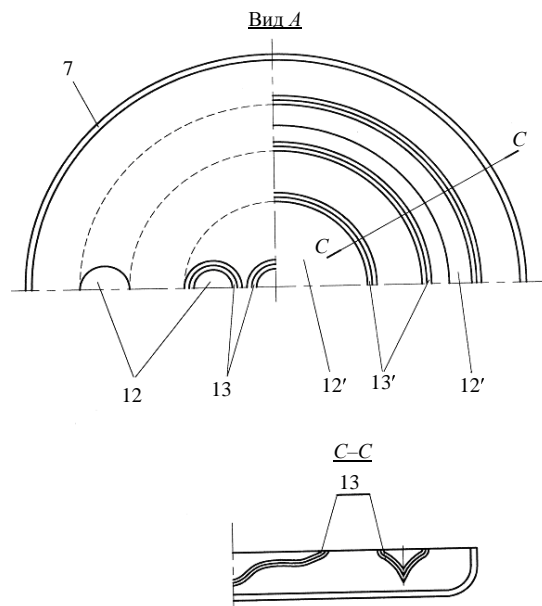


Рис. 4. Устройство для запуска термоядерных реакций двухстадийного ускорения-торможения (см. вид А, рис. 2):

7 — внешний корпус устройства; 12, 12' — газодинамические замки с дейтерированной двухслойной облицовкой 13; 13, 13' — дейтерированная двухслойная облицовка замков 12, 12'



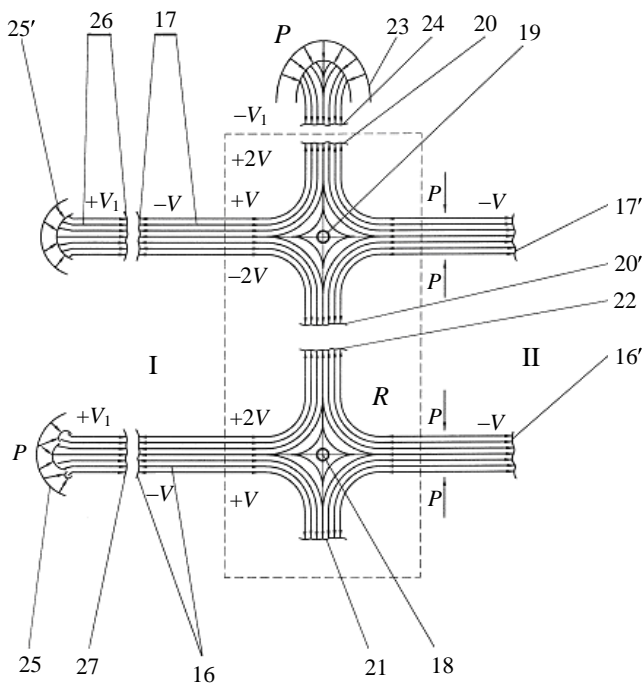


Рис. 6. Схема формирования кумулятивных потоков плазмы при трехстадийном ускорении-торможении: 10, 16, 16', 17, 17', 18, 19, 20, 22, 24, $[\pm V]$, R — то же, что и на рис. 3 и 5; 28(22) — цилиндрическая поверхность столкновения частей дисков разлета плазмы (22) и цилиндрический источник истечения ускоренных соосных плазменных потоков 29, 29' со скоростями $+4V$; 30 — точки срединной окружности плоскости поверхности кольца столкновения плазменных потоков 29, 29', ускоренных после вторичного столкновения (поверхность 22); R_1 — область заключительной, третьей стадии ускорения-торможения плазменных потоков

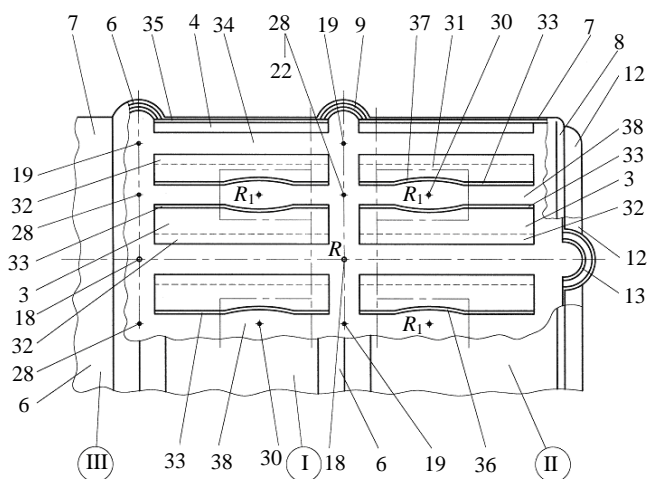


Рис. 5. Схема формирования кумулятивных потоков плазмы при двухстадийном ускорении-торможении: I, II — потоки от срабатывания этих секций, соответственно: осевой поток плазмы со скоростью $+V$ центральной зоны секции I и кольцевой осевой поток плазмы со скоростью $+V$ кольцевой зоны секции I; 16', 17' — потоки плазмы секции II, идентичные потоки секции I, но со скоростями $-V$; 16 — точка центра диска первого лобового столкновения осевых центральных потоков плазмы зон I, II; 17 — точки срединной окружности плоскости кольца первого лобового столкновения, кольцевых потоков плазмы зон I, II; 18, 19 — точки окружности полного торможения струй; 20, 20' — периферийная и внутренняя части диска разлета плазмы, после лобового столкновения кольцевых потоков 17, 17'; 21 — центральный диск разлета плазмы после лобового столкновения потоков 16, 16'; 22 — цилиндрическая поверхность вторичного столкновения центральной и периферийной частей дисков разлета плазмы, ускоренной после первых столкновений в точках 18, 19; 23 — продукты взрыва кольцевого запирающего кумулятивного заряда ВВ (5) (см. рис. 3), запирающего периферийную часть диска разлета 20; 24 — кумулятивный поток плазмы заряда 5, запирающий поток 20; 25 — продукты взрыва кумулятивных модулей-замков 12 (см. рис. 3, 4); 26 — кумулятивный поток плазмы, запирающий поток 17; 27 — кумулятивный поток плазмы замков 12 (см. рис. 3, 4), запирающий поток 16; P — давление продуктов взрыва ВВ; $[\pm V]$ — скорость потока плазмы после кумуляции; R — область двухстадийного ускорения-торможения потоков плазмы

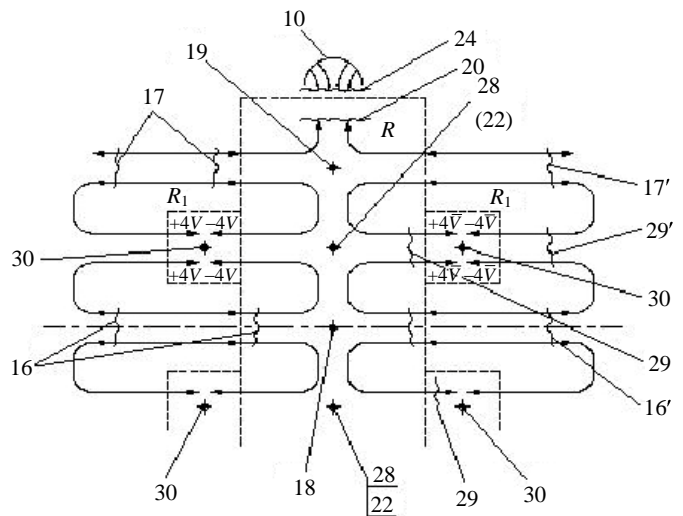


Рис. 7. Конструктивная схема устройства для запуска термоядерных реакций с трехстадийным ускорением-торможением плазменных потоков (реализация схемы рис. 6)
Титановые трубки не показаны. R ; R_1 ; I; II; 3; 4; 6; 7; 12; 13; 18; 19; 28; 30 — то же, что и на рис. 3—6; III — третья секция устройства для формирования потока плазмы 3-й стадии ускорения-торможения; 31 — ВВ внутреннего первичного и заключительного разгона-торможения потока плазмы; 32 — дейтерированное ВВ; 33 — дейтерированная металлическая обечайка (облицовка); 34 — кольцевой канал периферийной зоны первичного потока плазмы; 35 — внутреннее покрытие корпуса 7 из Li^6 ; 36 — внутренняя часть профильной ловушки, области 3-й стадии разгона-торможения плазменных потоков; 37 — внешняя часть ловушки; 38 — кольцевой канал 3-й стадии ускорения потока и сжатия его области торможения

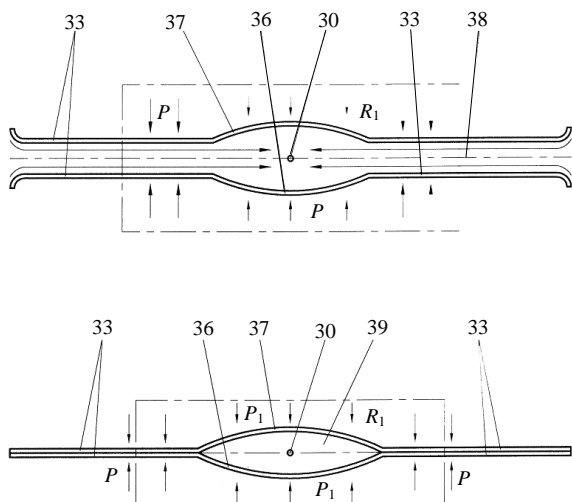


Рис. 8. Конструктивная схема заключительной стадии ускорения-торможения и схлопывания области торможения в образующей полости сходящихся кумулятивных облицовок из дейтерированного металла:
 R_1 ; P ; 30; 33; 36; 37; 38 — то же, что и на рис. 7; P_1 — давление в ударных волнах, создающих кумуляцию с осей составляющей; 39 — объем плазмы заключительной стадии столкновения потоков, обжимаемый давлением P , P_1 через дейтерированные облицовки 36, 37

Рис. 9. Конструктивная схема модификации простейшей дейтерированной трубки:

40 — цилиндрическая часть вакуумного корпуса трубки;
 41 — внутреннее покрытие части корпуса 40 из ${}^6\text{Li}$; ${}^9\text{Be}$; ${}^{11}\text{B}$;
 42 — трубчатый заряд дейтерированного ВВ; 43 — титановая дейтерированная трубка; 44 — заряд ВВ дейтерированный (т. е. в химических соединениях Н заменен на D); 45 — покрытие из ${}^6\text{Li}$; 46 — тонкая трубка из титановой дейтерированной фольги;
 47 — тонкая проволочка из дейтерированного титана;
 48 — торцевая часть вакуумированного объема с тонкой профилированной крышкой; 49 — импульсные (взрывные) генераторы тока и/или напряжения на МГД или пьезоэффекте; 50 — трасса подвода энергии от 49 к 46 и 47

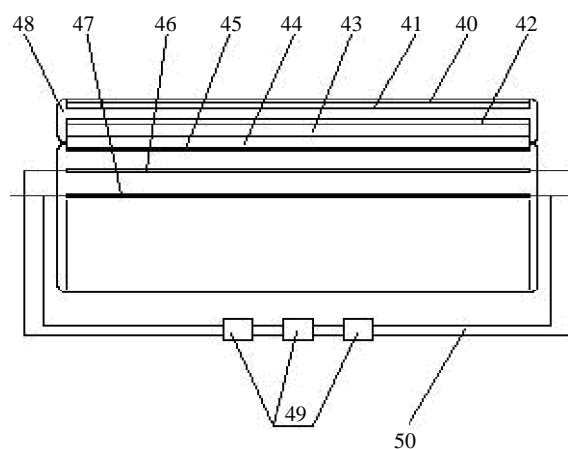


Рис. 10. Конструктивная схема модификаций (см. рис. 9) в сферическом варианте:

40÷46 — то же, что и на рис. 9, но не в трубчатом, а сферическом варианте; 51 — точечный источник нейтронов;
 52 — пространство, заполненное единичными модулями

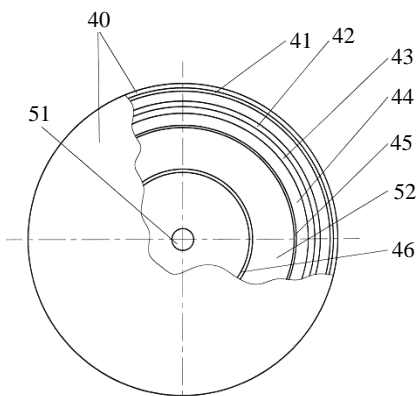
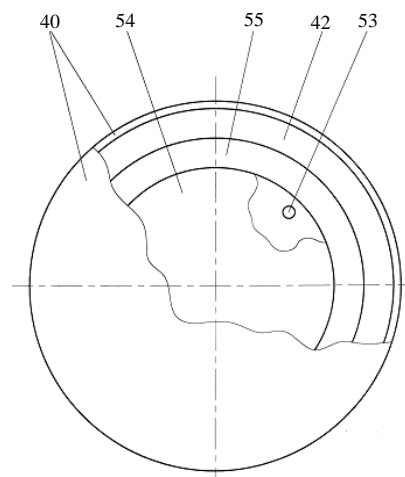


Рис. 11. Конструктивная схема устройства на основе единичных модулей (см. рис. 10):

40, 42 — то же, что и на рис. 10; 53 — единичный модуль;
 54 — объем единичных модулей; 55 — внешний слой ВВ



Теоретические представления и оценки на основе известных работ [1—9] могут носить в лучшем случае только качественный характер; основные размеры устройств должны обеспечить многокаскадность торможения — разгона потоков плотной плазмы и, вероятно, потребуют кропотливого труда экспериментатора.

Возникает вопрос о минимальном размере устройства. С учетом гидродинамических условий минимально характерный размер устройства в несколько сантиметров, т. е. с такой длиной, при которой формируются структуры плазмы с первичной скоростью $V \sim \pm 50—100$ км/с.

Образующие кольцевых каналов на всех рисунках могут иметь по отношению к осевой линии устройства переменный по знаку и значению угол α , который может удовлетворять условию $\alpha \approx 0$.

Заключение

Предложенные схемы несмотря на внешние различия и сложное пространственное исполнение по сути при запуске моделируют один из простейших эффектов, существующих на заключительной стадии кавитационной полости — выброс кавитационных струй.

Однако этот ключевой эффект в процессе кавитации обеспечивает эффективность заключительной стадии и является результирующим, т. е. ему подчинена вся архитектура устройства. Все вышесказанное позволяет надеяться на получение

качественно нового эффекта при импульсном запуске реакции нуклеосинтеза.

Литература

1. Забабахин Е. И., Забабахин И. Е. Явления неограниченной кумуляции. — М.: Наука, 1988. — 173 с.
2. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. — М.: Государ. науч.-технич. изд-во Оборониз., 1960. — 595 с.
3. Баум Ф. А. Станюкович К. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва. — М.: Физматизд., 1959.
4. Бирнгоф Г., Сарантанелло Э. Струи, следы и каверны. — М.: Мир, 1964.
5. Лаврентьев М. А. Кумулятивный заряд и принципы его работы// Успехи матем. наук. 1957. Т. XII. Вып. 4. С. 41—56.
6. Koski W., Luku F., Shreffler R., Willig F. Fast jets from collapsing cylinders// Journal of Appl. Phys. 1952. № 23. P. 1300—1305.
7. Адушкин В. В., Зецер Ю. И., Зотов Н. И. и др. Способ возмущения ионосферы и устройство для его осуществления: Пат. 2144685 от 20.01.2000.
8. Адушкин В. В., Зецер Ю. И., Гаврилов Б. Г. и др. Активные эксперименты "Флаккус 1,2": исследование взаимодействия плазменной струи с геофизической средой на высоте 140 км// ДАН РФ. 1998. Т. 361. № 6. С. 818—821.
9. Zetzer J. I., Kiselev Y. N., Gavrilov B. G., Poclak Y. V., Rybakov V. A., Brlandson R. E., Stoyanov B., Swaminathan P. K., Meng C. I., Stenbaek-Nielsen H. C., Pffaf R. F., Lynch K. A. Evolution of the High-Speed Plasma and Radiation in Active Geophysical Experiment "North Star". — 2000 Spring Meeting American Geophysical Union// Published as a supplement to Eos, May 9. 2000. № SM 51C-04. P. S396.

Статья поступила в редакцию 9 ноября 2007 г.

Pulse analogues of cavitation systems

O. B. Khavroshkin

Institute Physics of the Earth. Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Obviously enough occurrence and development of such direction as SONO FUSION (start of nuclear reactions of synthesis at cavitation) have appeared as alternative to "Tokamak's" direction in both by principles of the decision and on application. The present message offers model of the laboratory device which is direct analogue a cavitation bubble at a stage of the collapse. Additional application of allow deuterium metals and explosive matter suppose hydrodynamic consideration of process down to the collapse moment and an opportunity of controlled cavitation cumulated jets. Thus the model partly gets features of one more analogue which is a family of thermonuclear devices with the own history and features. The last for civil application also was a basic obstacle while the device of similar lack offered by us is deprived of it.

PACS: 65.20.-w