

Электрокинетический термоядерный реактор.

Г.И. Рудоминский

В статье предложена концепция электрокинетического термоядерного реактора на сталкивающихся плазмоидах. Для зажигания термоядерной реакции синтеза используется как энергия электрических токов, текущих в плазмоидах, так и кинетическая энергия их поступательного движения.

1. Введение

Вот уже более семидесяти лет, с 1951 г., ученые многих стран работают над решением проблемы управляемого термоядерного синтеза. Когда начались исследования, ученые верили, что «эра термояда» начнется самое позднее через 20–30 лет. Задача оказалось значительно сложнее. Были испробованы различные пути достижения заветной цели - освоения «звездной энергии»: от простых импульсных систем типа z-пинчей, многообразные типы магнитных ловушек, стеллараторы, установки токамак, системы с инерциальным удержанием плазмы и инициированием реакции синтеза электронными пучками или лазерным излучением. В настоящее время определились только два основных направления - установки токамак и лазерный термоядерный синтез.

Наиболее масштабным представителем первого направления является проект Международного экспериментального ядерного реактора ИТЭР. В целом токамак ИТЕР будет представлять собой грандиозное 60-метровое сооружение массой 23 000 т., а сам токамак и все служебные помещения — расположены на площадке с размерами 1,0×0,4 км. За годы строительства смета выросла с 5 до 20 миллиардов евро. Из-за технических проблем запуск ИТЭР переносится с 2025 года на неопределенный срок. ИТЭР не предназначен для производства электроэнергии и является тестовым прототипом термоядерной электростанции. Следующим этапом на пути к термоядерному будущему станет строительство промышленного демонстрационного реактора DEMO с запланированной мощностью всей станции около 3 ГВт. Основной план предусматривает производство электроэнергии от DEMO к 2050 году. Многие специалисты считают, что практические результаты мы получим не раньше, чем через 100 лет.

Второе направление представлено самой крупной экспериментальной установкой, работающей по принципу инерционного синтеза, — это Национальный центр зажигания (National Ignition Facility), расположенный в США, в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса. NIF — самая мощная лазерная система в мире,

насчитывающая 192 лазерных пучка. В декабре 1922 г. на экспериментальном реакторе NIF достигли так называемой точки зажигания — лазерная термоядерная установка выделила больше энергии, чем было передано на дейтерий-тритиевую мишень. При этом получили 3,15 мегаджоуля, потратив всего 2,05. Хотя лазеры передали на мишень два мегаджоуля, для этого в установку пришлось закачать более 400 мегаджоулей энергии. Причина этого в низком КПД лазеров. И никаких технических предпосылок для значительного увеличения этого параметра не существует. Поэтому система будет использоваться только в научных целях и для обкатки технологий. Как коммерческий проект для производства энергии лазерный термоядерный синтез бесперспективен.

В результате можно сделать вывод, что большая энергетика еще долгие десятилетия будет использовать реакторы, основанные на цепной реакции деления урана. Для решения проблемы термоядерного синтеза и промышленного применения термоядерных электростанций нужны новые идеи.

2. Концепция электрокинетического термоядерного реактора

В пятидесятых годах прошлого века идею применения плазмоидов для целей управляемых термоядерных реакций исследовал Уинстон Х. Бостик, который и придумал для этих материальных образований название – плазмоиды [1]. Плазмоиды получались из электрической дуги, сила тока в которой достигает нескольких тысяч ампер, с помощью специальной «плазменной пушки». Эта пушка имела два электрода, сделанных из металла, насыщенного тяжелым водородом. Отличительной особенностью пушки является то, что плазма, источаемая обоими электродами, образует петлю, которая, отрываясь затем от электродов, принимает форму вихревого кольца из плазмы. Сильное магнитное давление на внутренней стороне кольца выталкивает плазму вперед со скоростью, достигающей, 200 км/сек. Для ионов дейтерия такая скорость соответствует температуре 4 млн. градусов. Если же «выстрелить» плазмоиды навстречу друг другу, то они образуют различные формы - двойные кольца и другие фигуры (Рис.1). Образование этих интересных форм можно объяснить сложным взаимодействием между плазмоидами и магнитными полями. Энергия плазмоидов У.Х. Бостика не превышала 6 джоулей, и неспособна была создать температуру плазмы, необходимую для зажигания термоядерной реакции.

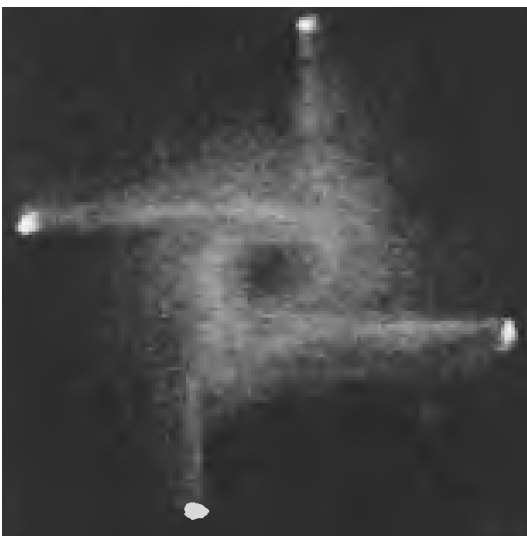
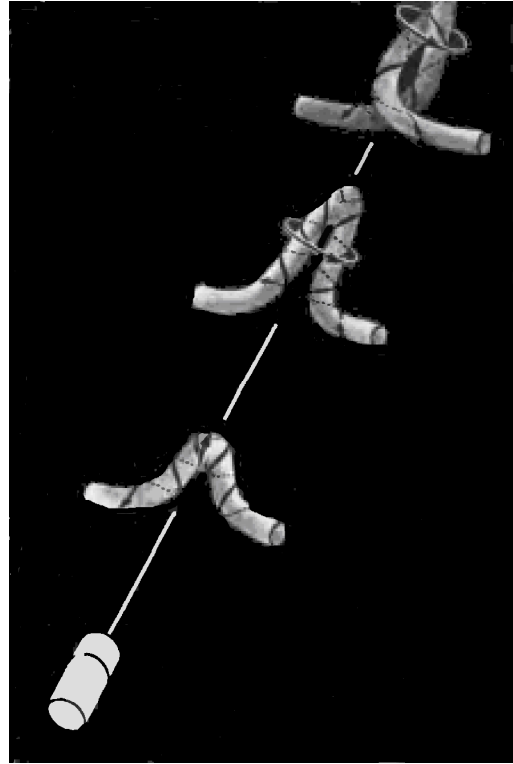
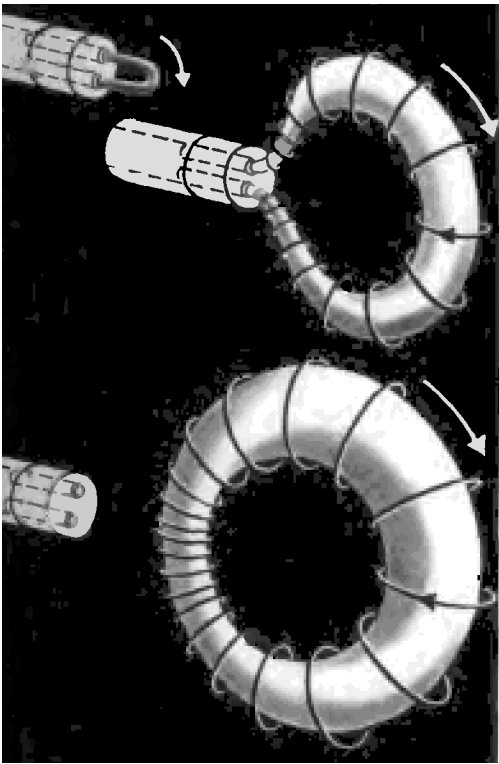


Рис. 1

Для решения проблемы, как это часто бывало в истории, следует обратиться к Природе, которая, можно предположить неслучайно, проявляет себя в таком таинственном и эксцентричном явлении как шаровая молния. Из наблюдений известно, что максимальное значение энергии этого феномена может составлять 10^{10} Дж с максимальным значением объемной плотности энергии порядка 10^{12} Дж/м³, а время существования достигает

нескольких минут. Согласно гипотезе, представленной в работе [2], шаровая молния - это вихревой тороидальный плазмоид, возникающий в результате коллапса электромагнитных полей и заряженных частиц при взаимодействии двух лидерных каналов линейной молнии. Плазма природной шаровой молнии состоит из ионизированных атомов кислорода и азота, входящих в состав воздуха. Для целей управляемой термоядерной реакции синтеза плазмоид должен состоять из смеси ионов дейтерия и трития. Далее приведены расчетные значения параметров одного из вариантов такого плазмоида. На рис. 2 и 3 показаны профили параметров плазмоида в плоскости симметрии $z=0$: электрического поля - E , плотности заряда - ρ , индукции магнитного поля - B , плотности токов - J , скорости ионов - V_i , плотности плазмы - τ и концентрации ионов - n_i . На рис. 4 показаны объемные плотности и баланс сил в плоскости $z=0$.

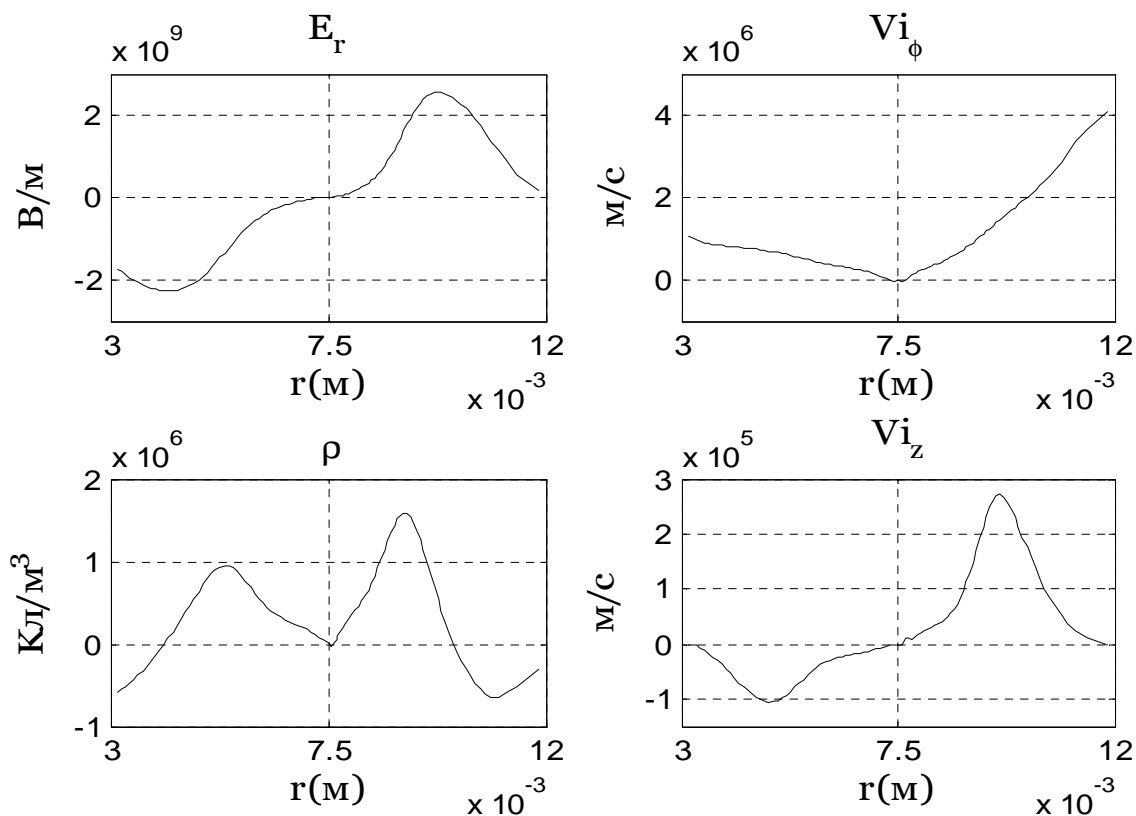


Рис. 2

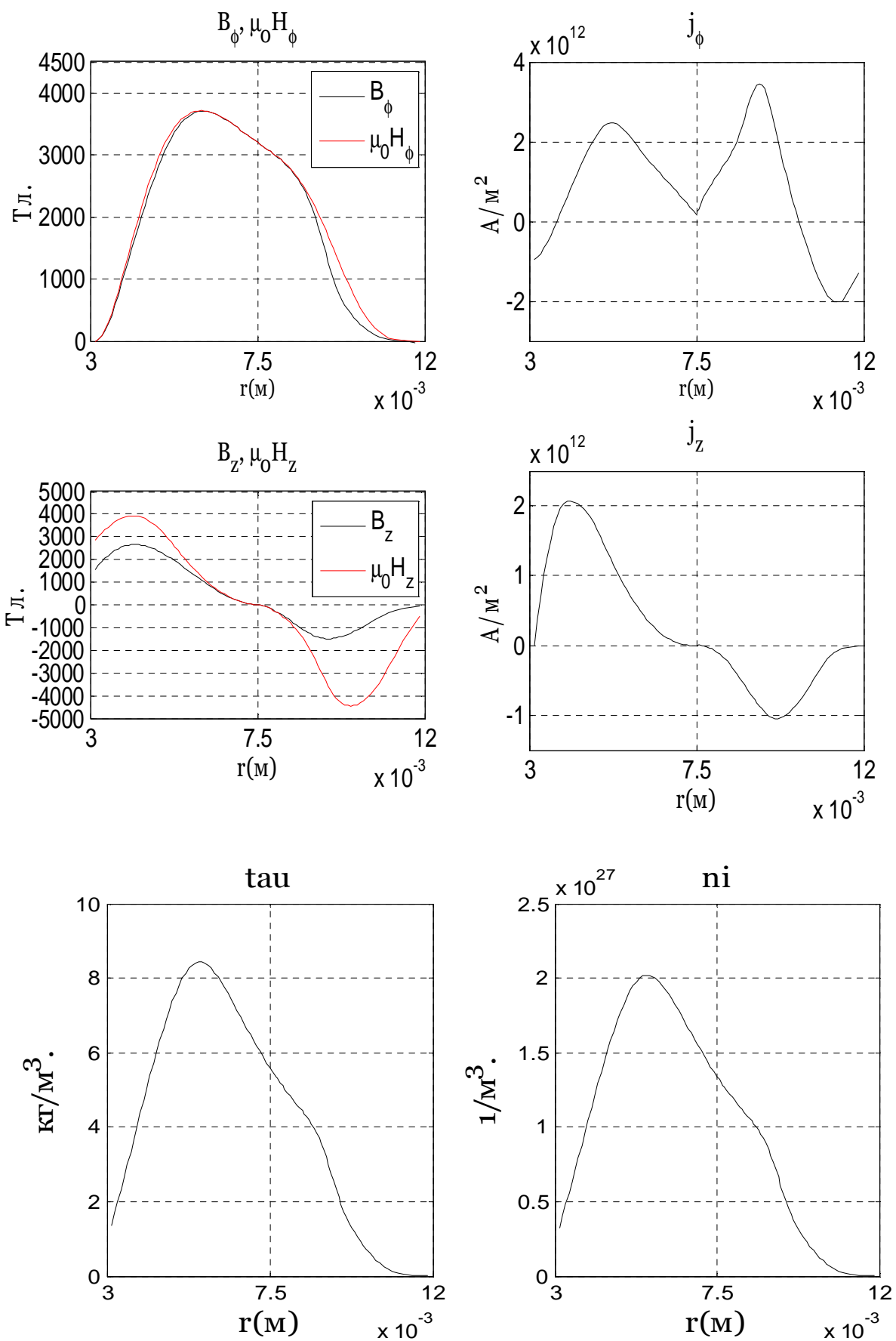


Рис. 3

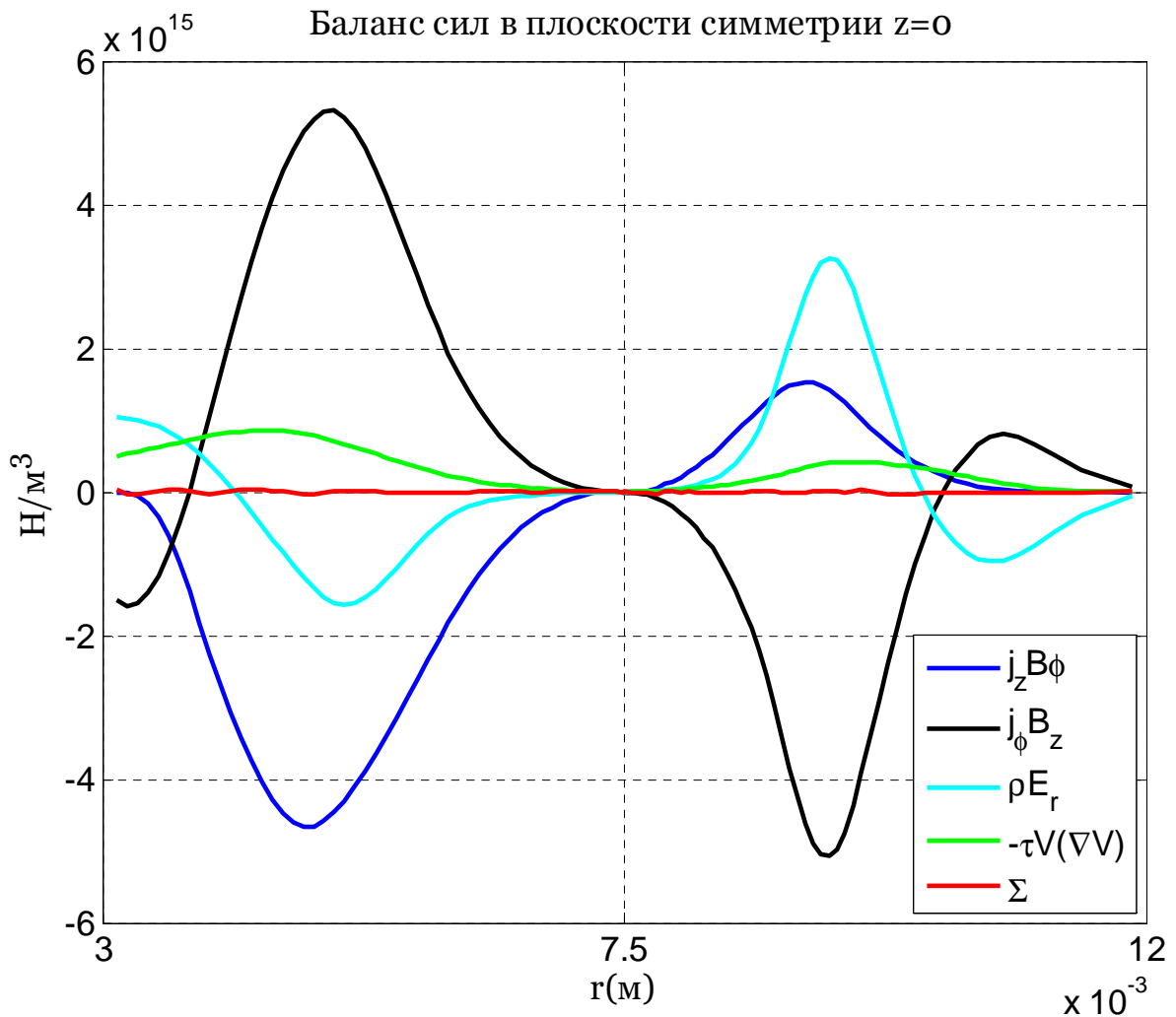


Рис. 4

Максимальный размер тороида 24 мм.

Масса $6,32 \cdot 10^{-6}$ кг.

Объем тороида $3,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Ток, текущий в плазмоиде, $1,5 \cdot 10^8$ А.

Разность потенциалов $5,4 \cdot 10^6$ В.

Полная энергия плазмоида $9,27 \cdot 10^6$ Дж.

Средняя объемная плотность энергии плазмоида $2,97 \cdot 10^{12}$ Дж/ м^3 .

Несмотря на высокую плотность энергии шаровой молнии, ее температура (по наблюдениям) не превышает нескольких тысяч градусов. Это связано с особенностями ее структуры и коллективным поведением входящих в ее состав частиц. При взрыве шаровой молнии на открытом пространстве, ее энергия выделяется, в основном, в виде электромагнитного импульса, и не приводит к значительному повышению температуры (до термоядерных значений). Для термализации энергии плазмоидов необходимо разрушить их устойчивую

структуру. Это можно сделать, придав плазмоидам дополнительную скорость и, затем, столкнув два плазоида в центре реактора. Для предотвращения ухода энергии через электромагнитный импульс реактор должен иметь проводящий металлический корпус.

Для оценки энергетического баланса подсчитаем количество энергии необходимое для создания плазмоидов и придания им дополнительной скорости.

Плазоид представляет, в сущности, магнитогидродинамический конденсатор с потенциалом $5,4 \cdot 10^6$ В. С точки зрения электротехники, создание плазоида происходит в процессе зарядки его емкости от накопительного конденсатора с большим, чем у плазоида напряжением. Максимальное значение КПД этого процесса при зарядке через активное сопротивление равно 0,5. При индуктивной заряде конденсатора этот параметр может иметь и большее значение. Примем более скромное значение равное 0,2. Тогда для создания плазоида потребуется энергия первичного накопительного конденсатора

$$9,27 \cdot 10^6 \cdot 5 = 46,35 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Придание плазоиду скорости порядка $V = 10^6$ м/сек дает прибавку кинетической энергии $mV^2/2 = 3,16 \cdot 10^6$ Дж, где m - масса плазоида, V - его скорость.

Плазоид является магнитным диполем со значением магнитной индукции на внешней поверхности в районе полюсов до нескольких десятков Тл. Поэтому для придания ему дополнительной скорости можно применить индукционный ускоритель Гаусса. Плотность энергии плазоида составляет $2,97 \cdot 10^{12}$ Дж/м³, что соответствует давлению $2,97 \cdot 10^{12}$ Н/м², более чем десятикратно превышающему значение модуля упругости железа равное $2 \cdot 10^{11}$ Н/м². Такая жесткая структура плазоида позволяет использовать большие величины ускорений при его разгоне. КПД многоступенчатых ускорителей Гаусса может достигать 0,5 и более. Ограничим это значение величиной 0,2. Тогда от источника внешней энергии на разгон плазоида потребуется $15,8 \cdot 10^6$ Дж. Полное значение энергии плазоида равное сумме внутренней энергии и его кинетической энергии $9,27 \cdot 10^6 + 3,16 \cdot 10^6 = 12,43 \cdot 10^6$ Дж. А общие затраты энергии на создание и разгон двух плазоидов составят $124,3 \cdot 10^6$ Дж.

Количество частиц (электронов и ионов) составляющих плазоид $N = 3,28 \cdot 10^{21}$.

При полной термализации плазмы после столкновения плазоидов ее температура составит

$$T = \frac{2 \cdot W}{3 \cdot k \cdot N} = 1,98 \cdot 10^8 \text{ }^\circ\text{К,}$$
 где k - постоянная Больцмана,

$$W = 12,43 \cdot 10^6 \text{ Дж.} \quad - \text{ полная энергия плазоида.}$$

Температура на фронте ударной волны при столкновении плазмоидов может значительно превысить это значение.

Реакция синтеза дейтерия с тритием дает 17,6 МэВ энергии. Если в реакцию вступит все вещество плазмоидов, то выделится $4.26 \cdot 10^9$ Дж, что соответствует энергии 1 тонны тротила. Коэффициент воспроизводства энергии составит $4.26 \cdot 10^9 / 124,3 \cdot 10^6 = 34,3$.

Если прореагирует только 10% вещества плазмоидов, то и в этом случае коэффициент воспроизводства энергии будет 3,4, что приемлемо для коммерческого реактора. Реактор должен работать в импульсном режиме. При частоте 10 импульсов в секунду тепловая мощность реактора составит $4.26 \cdot 10^9$ Вт.

2. Конструкция реактора

Принципиальная схема реактора показана на рис. 5. Для получения плазмоидов используются трехэлектродные разрядники-формирователи. В камеру разрядника предварительно вводят газ из смеси дейтерия и трития. Генераторы импульсного напряжения (ГИН) подают на электроды разрядников, программируемые по форме и напряжению импульсы, таким образом, чтобы сформировать параметры разряда близкие к параметрам лидерных каналов линейной молнии. Образовавшиеся плазмоиды разгоняются индукционными ускорителями Гаусса до скорости порядка 10^6 м/сек. Блоки управления и синхронизации должны обеспечивать встречу плазмоидов в центре камеры реактора. В зависимости от технологических возможностей, длина ускорителей может составлять величину до нескольких десятков метров. Внутри камеры реактора имеется катушка магнитного поля, которая выполняет две функции. Первая – это направление плазмоидов вдоль силовых линий магнитного поля и ориентация их магнитных моментов. Вторая функция – съем части энергии реакции непосредственно в виде электрического тока. Первой стенкой реактора служит бланкет, который разделен на сегменты для удобства технического обслуживания. Назначение бланкета - улавливать высокоэнергичные нейтроны, образующиеся при термоядерной реакции. В бланкете нейтроны замедляются, выделяя тепло, которое отводится системой охлаждения. Кроме этих блоков реактор имеет системы первичного питания, топливную систему, вакуумные насосы, систему охлаждения и преобразователи тепловой энергии в электрический ток, а также различное вспомогательное оборудование.

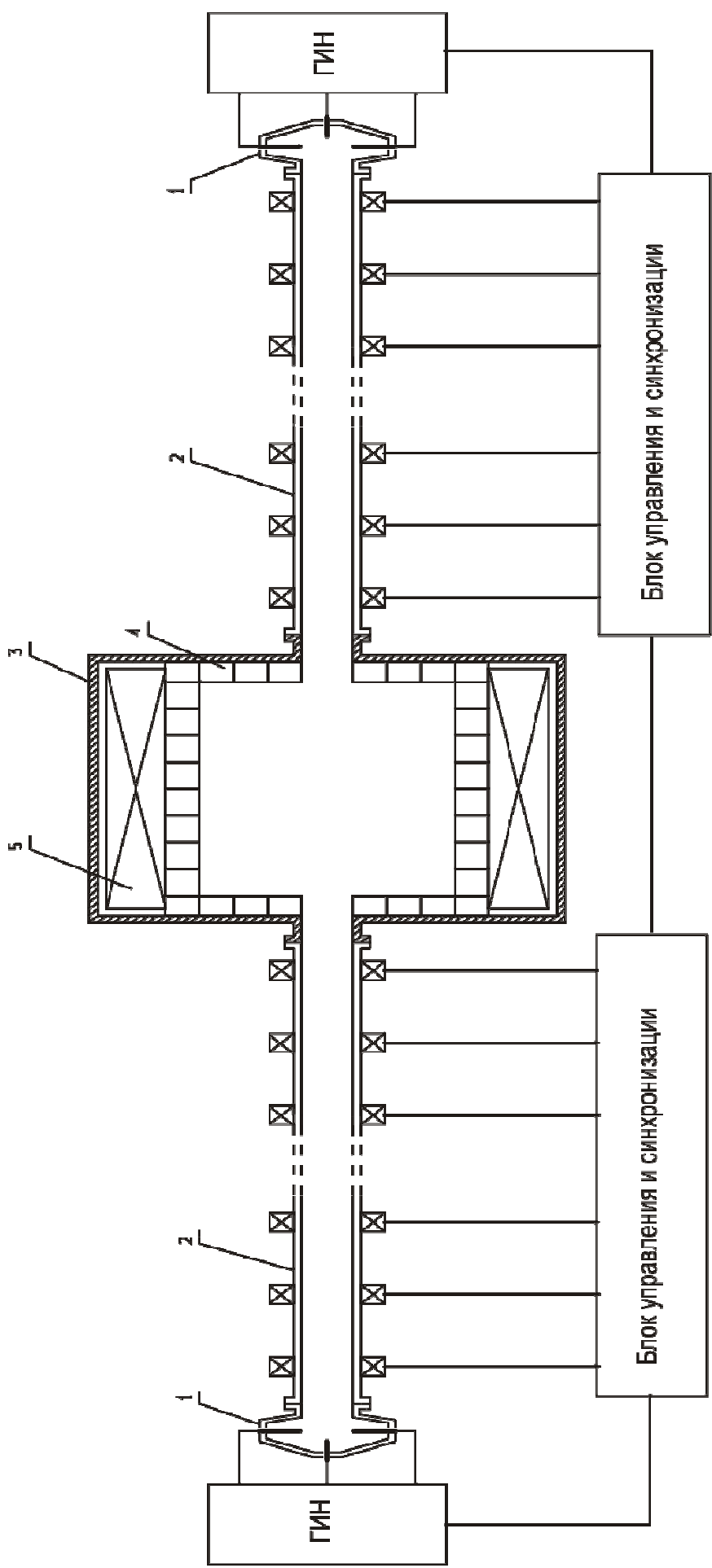


Рис. 5. Электрокинетический реактор

1 - разрядники - формирователи плазмодов, 2 - многоступенчатые индукционные ускорители Гаусса,

3 - металлический корпус реактора, 4 - бланкет, 5 - катушка магнитного поля, ГИН - генераторы импульсов напряжения.

Заключение

Несмотря на колоссальные усилия и десятилетия исследований, потраченные на решение проблемы управляемого термоядерного синтеза, суммы технологий, накопленных человечеством на этом пути, пока недостаточно для создания коммерческого реактора. Предлагаемая концепция электрокинетического термоядерного реактора во многом гипотетична, но в ее основе лежат уникальные свойства реального физического явления - шаровой молнии. В наш прагматичный век, когда внимание сосредоточено только на тех научных направлениях, которые могут дать быстрый экономический эффект, находится мало энтузиастов, готовых заниматься такими проблемами как шаровая молния. Концепция реактора на сталкивающихся плазмоидах – аналогах природной шаровой молнии показывает, что исследование редких и таинственных явлений природы имеет не только чисто научное значение, но и может привести, в итоге, к весьма значительным экономическим результатам. Без привлечения внимания научного сообщества к новым открывающимся путям и возможностям, надежды на освоение термоядерной энергии так и останутся «сказками о силе».

Литература

1. ByWinston H. Bostick. Plasmoids. Scientific American, October 1957.
2. Г.И. Рудоминский. Высокоэнергетические автономные плазмоиды. <http://lenr.seplm.ru/>