

УДК 519.63:536.4

О численном моделировании формирования сферического слоя D-T смеси в микромишенях ЛТС

Кирейчева Е. Ю.¹, Веселова Е. А.¹, Дерюгин Ю. Н.¹, Мамедова Т. Ф.²

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики¹,
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет²

Управляемый термоядерный синтез является многообещающей технологией для производства энергии. В инерциально-термоядерном реакторе [1] для осуществления условий реакций синтеза сферическая микромишень, содержащая твердый слой изотопов водорода дейтерия (D2) и трития (T2), обжимается под воздействием лазерного излучения. Достижение необходимых параметров для зажигания мишени во многом определяется сферичностью твердого слоя D-T смеси. В процессе производства микромишеней при замораживании газонаполненной микросферы в результате влияния силы тяжести происходит несимметричное охлаждение мишени. В работах [2,3] отмечается, что вследствие энерговыделения при распаде трития в D-T смеси может происходить естественная симметризация твердого слоя.

Для оценки времени формирования твердого слоя в работе [4] была создана одномерная расчетная модель процесса замораживания газонаполненной микросферы. Данная модель представляет собой задачу Стефана с двумя фазовыми переходами с учетом потенциального движения замораживаемого газа. С использованием созданной методики были вычислены пространственно-временные распределения температуры внутри и вне сферы, скорость движения газа внутри сферы и время замораживания в широких пределах размеров микросфер, количества содержащегося в них газа и скорости охлаждения. Описание процесса естественной симметризации за счет внутренних источников энергии потребовало создания многомерной расчетной модели [2, 3]. Использование здесь разработанных многомерных коммерческих кодов [2, 3, 5] в силу разномасштабности газодинамических и тепловых процессов не позволило численно оценить время симметризации, которое может составлять несколько часов.

Целью данной работы явилось разработка экономичной методики расчета формирования криогенного слоя D-T смеси в микросфере на основе двумерного подхода и уравнений движения газовой фазы в приближении Буссинеска. Тепловая задача представляет собой задачу Стефана с фазовым переходом газ-твердое тело с выделением фронта фазового перехода на подвижной эйлеровой сетке. Используемые термодинамические свойства веществ в рассматриваемом диапазоне температур взяты из [6]. Разработанная методика основана на методе конечного объема и использовании структурированной подвижной сетки. Расчетный шаг расщепляется на три этапа. На первом этапе определяется скорость фазового фронта и новое положение сетки. На втором этапе определяются компоненты вектора скорости в газовой фазе D-T смеси из решения уравнений Навье-Стокса методом типа SIMPLE [7]. В этом методе вначале определяются предварительные значения компонент вектора скорости без учета градиента давления. Затем из условия выполнения уравнения неразрывности определяются давление и новые значения компонент вектора скорости. Получающиеся системы разностных уравнений решаются методом расщепления по направлениям с использованием скалярных прогонок. На третьем этапе решается уравнение теплопереноса, которое аппроксимируется неявной разностной схемой относительно приращения температуры. Здесь система разностных уравнений также расщепляется по направлениям на одномерные

уравнения, которые решаются методом прогонки. Приводятся результаты расчетов процесса симметризации для одной конструкции мишеней для различных степеней заполнения D-T смесью.

Литература

1. Николс Дж. Г. Осуществимость инерциально-термоядерного синтеза. УФН, Т. 143, № 3. С. 467-482.
2. Hoffer J.K., Foreman L.R. Radioactively Induced Sublimation in Solid Tritium. Phys. Rev. Lett. 1988. Vol. 60, No. 13. pp. 1310-1314.
3. Modeling the Temperature and Ice-Thickness Profiles Within OMEGA Cryogenic Targets. LLE Review, Volume LLE Review. 2002. Vol. 81, p. 14.
4. Deryugin Yu. N., Izgorodin V.M., Solomatina E. Yu. Numerical simulation of the freezing process of hydrogen isotopes in a spherical container. J. Moscow Phys. Soc. 9 (1999). 165-172.
5. Козелков А.С., Дерюгин Ю.Н., Зеленский Д.К., Глазунов В.А., Голубев А.А., Денисова О.В., Лашкин С.В., Жучков Р.Н., Тарасова Н.В., Сизова М.А. Многофункциональный пакет программ ЛОГОС для расчета задач гидродинамики и теплопереноса на многопроцессорных ЭВМ: базовые технологии и алгоритмы. // Супервычисления и математическое моделирование: Труды XII международного семинара. Саров, 11-15 октября 2010. С. 215-230.
6. Малков М.П. Справочник по физико-техническим основам криогеники. М.: Энергоатомиздат, 1985. 432 с.
7. Ferziger J.H., Peric M. Computational methods for fluid dynamics. -3., rev. ed. - Berlin; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2002.

MSC2020 76D05, 76M12

About numerical modeling of the formation of a spherical layer of D-T mixtures in LTS micro-targets

E. Yu. Kireicheva¹, E. A. Veselova¹, Yu. N. Deryugin¹, T. F. Mamedova²
Russian Federal Nuclear Center¹, National Research Mordovia State University²