

## ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РАДАРА В ПЛАЗМЕ УСТАНОВОК УТС

А.Д. Исаков, Л.А. Лобес, А.В. Шарнин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [rhawww@gmail.com](mailto:rhawww@gmail.com)

Одной из приоритетных задач управляемого термоядерного синтеза (УТС) является повышение эффективности измерения распределения плотности электронов в плазме с использованием метода импульсной микроволновой рефлектометрии. Успешность решения этой задачи зависит от согласования двух взаимоисключающих требований: с одной стороны – повышения детальности описания физики распространения волн в плазме и их детектирования, а с другой – снижения сложности программно-аппаратной реализации математической модели на компьютере при сохранении приемлемого времени расчета. Последние достижения техники позволяют существенно повысить детальность описания процесса распространения волн в плазме и применять на практике не только двухмерные, но и трехмерные модели, рассчитываемые по методу конечных разностей во временной области (FDTD) [2].

Актуальность использования трехмерных моделей ИРП обусловлена потребностью повышения точности косвенных измерений и интерпретации аномальных артефактов. Вместе с этим, разработка трехмерных моделей электродинамики плазмы рассчитываемых по методу FDTD является нетривиальной задачей.

В данной работе представлены результат разработки 3D модели ИРП установок УТС типа токамак. Модель позволяет по заданному трехмерному распределению плотности электронов в плазме и параметрам зондирующего электромагнитного излучения импульсного радара рассчитывать и сохранять пространственно-временное распределение электромагнитного поля в плазме и вакуумной камере. Рассчитанные распределения используются для уточненного моделирования сигналов, формируемых антенной системой радара и полупроводниковым первичным преобразователем. Это позволяет исследовать и оценивать эффективность традиционных методов измерения времени пролета, реализуемых радаром и основанной на обработке сигнала первичного преобразователя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shevchenko V. F., Walsh M. J., First results from the small tight aspect ratio tokamak multifrequency pulse radar reflectometer, Review of Scientific Instruments. 1997. Т. 68. № 5. С. 2040-2045.
2. Taflove A., Umashankar K.R. The Finite-Difference Time-Domain (FD-TD) Method for Electromagnetic Scattering and Interaction Problems // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 1987 – Vol. 1 – № 3 – P. 243–267.

## РАСЧЕТ ОСНОВНОГО И НЕКОТОРЫХ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ

### ЛИТИЙ-ПОДОБНЫХ ИОНОВ УРАНА

Г.Е. Тшикеди, В.А. Килин, Е.А. Сеницын

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yak@tpu.ru](mailto:yak@tpu.ru)

Исследование эффекта расщепления энергетических уровней многозарядных ионов при их релятивистском каналировании между кристаллическими плоскостями, а также сопровождающих процессов

возбуждения электронов и последующего распада возбужденных состояний является актуальной задачей [1]. В настоящей работе представлены результаты первого, подготовительного шага такого исследования – данные по расчету основного и ряда возбужденных состояний  $Li$ -подобных ионов  $U^{92}$ , полученные в нерелятивистском приближении Хартри-Фока (ХФ). Расчеты выполнены с использованием известного пакета программ АТОМ [1], который позволяет, в частности, получать полные и одноэлектронные энергии состояний, а также их волновые функции дискретного и непрерывного спектра в двух вариантах – в самосогласованном ХФ потенциале и в приближении «замороженного» ионного остова. В первом варианте энергия возбуждения рассчитывается как разность между ХФ полными самосогласованными энергиями возбужденного  $E^*$  и основного  $E_0$  состояний,  $\Delta E^{SCF} = E^* - E_0$ , во втором – равна разности одноэлектронных энергий возбужденной и возбуждаемой подоболочки,  $\Delta E^{FC} = \varepsilon_{nl} - \varepsilon_0$ .

Выполнен расчет энергий возбуждения  $Li$ -подобного иона  $U^{92}$  из основного состояния  $1s^2 2s$  в состояния  $1s^2 nl$ ,  $nl = 3s-10s, 2p-5p, 3d-5d, 4f, 5f$  электрона. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1 - Энергии ( $Ry$ )  $\Delta E^{SCF}$  и  $\Delta E^{FC}$  возбуждения  $1s^2 2s \rightarrow 1s^2 nl$   $Li$ -подобного иона  $U^{92}$

$1s^2 nl$	$\Delta E^{SCF}$	$\Delta E^{FC}$	$1s^2 nl$	$\Delta E^{SCF}$	$\Delta E^{FC}$	$1s^2 nl$	$\Delta E^{SCF}$	$\Delta E^{FC}$
3s	1138.109	1138.110	9s	1943.110	1943.107	3d	1143.225	1143.294
4s	1534.891	1534.889	10s	1962.160	1962.158	4d	1537.007	1537.044
5s	1718.200	1718.198	2p	12.785	12.786	5d	1719.274	1719.294
6s	1817.664	1817.659	3p	1141.698	1141.696	4f	1537.046	1537.044
7s	1877.593	1877.589	4p	1536.377	1536.374	5f	1719.296	1719.294
8s	1916.468	1916.466	5p	1718.954	1718.952			

Видно, что (i) рассчитанная энергия возбуждения мало зависит от варианта расчета, что естественно для столь высокозарядного иона, (ii) ее величина определяется, в основном, главным квантовым числом  $n$  возбужденных состояний, что характеризует водородоподобность состояния возбужденного электрона. Заметим, что энергия всех возбуждений на два порядка больше энергии первого возбужденного состояния  $1s^2 2p$ . Можно ожидать, что при каналировании наиболее вероятно именно такое возбуждение  $Li$ -подобного иона  $U^{92}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nakai Y., et al. Stark effect in resonant coherent excitation of 2s-electron of Li-like ions channeling in a Si crystal // Nucl. Instr. Methods. - 2013. - v. 315. – p. 94–98.
2. Амусья М.Я., Чернышева Л.В. Автоматизированная система исследования структуры атомов. – Л.: Наука, 1983. – 180 с.

#### КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КР III

Б.Д. Уилкокс, В.А. Килин, Р.Ю. Килин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yak@tpu.ru](mailto:yak@tpu.ru)

Для достоверной интерпретации экспериментальных спектроскопических данных (напр., [1]) требуется знать ширину каналов заселения флуоресцентных состояний и, следовательно, полную ширину промежуточных состояний, если таковые существуют. В частности, представляют интерес полные ширины промежуточных ионных состояний типа  $KrIII 4p^{-3} nl$ , которые могут проявляться во флуоресцентных спектрах после  $3d$