

УДК 004

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТНОГО ИСТОЧНИКА АРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

Иванова А.Д.

Научный руководитель: Огородников А.С.

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: adi3@tpu.ru

This article is devoted to modeling of betatron. The betatron guiding magnetic field is erected by single-turn copper coil which is consisted of the two concentric rings. Researches were conducted with use of Microsoft technologies.

Ключевые слова: модель, бетатрон, магнитное поле

Key words: model, betatron, magnetic field.

В практике бетатростроения формирование управляющего магнитного поля осуществляется двумя способами. В классических бетатронах необходимое распределение магнитного поля по радиусу задается углом наклона профилирующих участков полюсов электромагнита, а в безжелезных бетатронах – путем геометрического перераспределения витков возбуждающей обмотки в радиальном направлении. Рассматривается вариант бетатрона, в котором управляющее электромагнитное поле формируется и возбуждается одновитковой обмоткой, выполненной в виде двух concentрических колец, которые выполняют функцию ускорительной камеры [2]. Схема формирования и возбуждения управляющего поля бетатрона представлена на рис. 1.

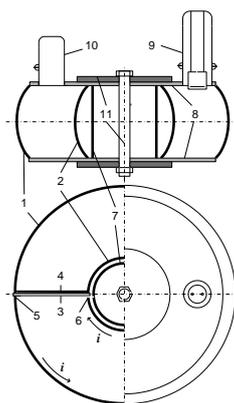


Рис. 1. Схема формирования и возбуждения управляющего поля бетатрона

Одновитковая обмотка выполняется в виде двух concentрических колец 1 и 2, выполненных из проводящего материала. Электрический ток I протекает по кольцам 1 и 2 в противоположных направлениях и в пространстве между ними возникает переменное магнитное поле. Для придания магнитному полю фокусирующих свойств (создания «бочкообразной»

формы силовым линиям) поверхностям цилиндров придается выгнутая форма выпуклостью наружу от оси колец. Таким образом, в пространстве, охватываемом одновитковой обмоткой, создается управляющее магнитное поле, которое обладает фокусирующими свойствами. Для выполнения бетатронного соотношения 2:1, которое означает, что для движения электронов по замкнутой орбите постоянного радиуса напряженность магнитного поля должна быть вдвое меньше средней напряженности поля в круге этой орбиты, внутри кольца 2, как и в любом безжелезном бетатроне, расположен индуктор 7, выполненный в виде соленоида. Синхронизация электромагнитных полей, создаваемых одновитковой обмоткой 1 и 2 и индуктором 7 обеспечивает индукционное ускорение электронов до заданной энергии. Данная задача сводится к решению краевой задачи для уравнения

$$r \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + 3 \frac{\partial u}{\partial r} = -\mu_0 J_\varphi,$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м, $u = A_\varphi / r$; A_φ , J_φ – азимутальные составляющие векторного потенциала и объемной плотности тока. Составляющие вектора магнитной индукции выражаются через $u(r, z)$

$$B_r = -r \frac{\partial u}{\partial z}; \quad B_z = 2u + r \frac{\partial u}{\partial r}$$

На рис. 2 представлена расчетная область бетатрона, построенная в пакете COMSOL с помощью графического интерфейса пользователя (GUI).

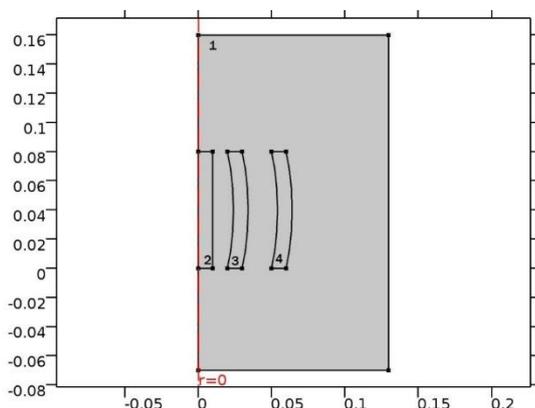


Рис. 2. Расчетная область бетатрона

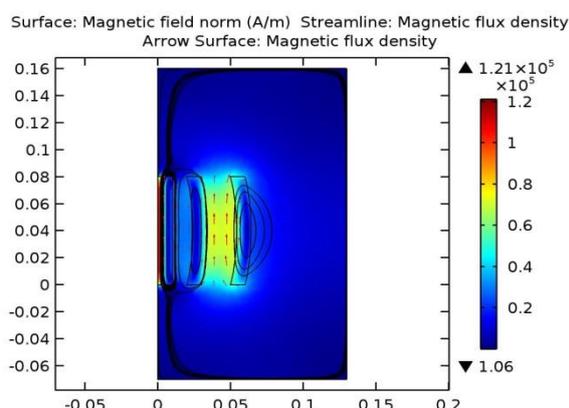


Рис. 3. Расчетные плотности потока (линии) и вектор (стрелки) магнитной индукции B

В индукторе – соленоиде 2 объемная плотность тока $J_\varphi = 1.5 \cdot 10^7$ А/м², во внутреннем кольцевом витке 3 $J_\varphi = -10^6$ А/м², во внешнем витке 4 $J_\varphi = 10^6$ А/м². Боковые поверхности витков 3 и 4 образованы вращением кривых Безье второго порядка относительно оси симметрии $r = 0$. На торцах цилиндрической области задаются граничные условия магнитной изоляции $A_\varphi = 0$. Область 1 – вакуум. Силовые линии магнитного поля представлены на рис. 3, на этом же рисунке стрелками изображается вектор магнитной индукции. Поле в области между витками 3 и 4 имеет бочкообразную структуру. Цветовая палитра характеризует распределение магнитного потока в расчетной области (рис. 3).

Моделирование показывает, что с помощью предложенного способа возможно формирование магнитного поля бетатронного типа.

Список литературы

1. Арцимович Л.А. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях / Л.А. Арцимович, С.Ю. Лукьянов. – М.: Наука, 1972. – 224 с.
2. Москалев В.А., Огородников А.С., Сергеев Г.И. Формирование магнитного поля безжелезного бетатрона с использованием методов математического моделирования // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11/2.

УДК 004

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПЛАЗМЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОСЕСИММЕТРИЧНОМ ПЛАЗМЕННОМ ГЕНЕРАТОРЕ

Романова Т.А.

Научный руководитель: Огородников А. С.

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tar6@tpu.ru

The model of a plasma cord with two identical solenoidal coils created in the program COMSOL Multiphysics 5.1 environment is presented in this article. The model has been constructed for research of diamagnetism of plasma. The illustrations showing modification of density of a magnetic flux and direction of power lines at change of external density of current are as a result given, a component $(J^e)_\varphi$ and $(J^e)_z$.

Ключевые слова: диамагнетизм (diamagnetism), COMSOL Multiphysics 5.1, магнитное поле (magnetic field).

Диамагнетизм плазмы (ДП) – это свойство, характеризующее её магнитную восприимчивость, способность плазмы при помещении её в магнитное поле намагничиваться навстречу направлению внешнего поля. Этот эффект обусловлен движением электронов и ионов плазмы по винтовым (ларморовским) траекториям, что эквивалентно круговому току, создающему поле, противоположное внешнему, но меньшее по величине, так что поле внутри плазмы уменьшается. Следствием ДП является тенденция к выталкиванию сгустков плазмы из области сильного магнитного поля в области с более слабым магнитным полем. Расчётная область построена в среде моделирования COMSOL Multiphysics 5.1 в модуле AC/DC. Он предназначен для моделирования задач электромагнитных явлений как переменного, так и постоянного тока. В качестве расчётной области выбиралась аксиально – симметричная область в цилиндрической системе координат (r, φ, z) , между анодом и катодом – плазменный шнур (рис. 1) [1].

Вокруг плазменного шнура расположены две соленоидальные катушки. Они нужны для создания внешнего магнитного поля. Внешнее магнитное поле в такой системе создаётся двумя одинаковыми катушками с плотностью тока в катушке

$$(J^e)_\varphi = \frac{In}{h\Delta R}, \quad (1)$$