621.3.032.26(049.3)

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА

G. A. Nagy, M. Szilagy. Introduction to the Theory of Space-charge Optics. Budapest, Akadémia Kiadó, 1974, 514 p.

Важность понимания явлений, обусловленных существованием пространственного заряда, была впервые осознана физиками около 70 лет тому назад, когда в работах Лэнгмюра и Чайльда было продемонстрировано, сколь существенным является ограничение электронного тока в диоде, обусловленное его влиянием. Широкое применение электронных пучков в самых различных областях науки и техники и в первую очередь применение интенсивных электронных пучков, широко используемых в металлургии, машиностроении и физике элементарных частиц, привело к появлению огромного числа работ, посвященных учету различных эффектов, связанных с существованием пространственного заряда. Строгое теоретическое рассмотрение этой проблемы связано со значительными математическими трудностями, так как попытки математического описания влияния пространственного заряда приводят к нелинейным дифференциаль-

ным уравнениям в частных производных, которые имеют аналитическое решение лишь в тривиальных случаях. Использование численных методов решения этих уравнений с помощью ЭВМ связано с весьма большим объемом работы, и выявление физических закономерностей при рассмотрении результатов расчетов требует, кроме того, дополнительных усилий. Поэтому теория электронно-оптических систем непрерывно развивается и совершенствуется.

Лишь за последние годы этому вопросу был посвящен ряд монографий, вышедших в СССР и за рубежом. К их числу относятся монографии P. T. Kirsten, G. S. Kino. W. E. Waters «Space Charge Flow» (N. Y., McGraw-Hill, 1968), А. Д. Сушкова и и С. И. Молоковского «Интенсивные ионные и электронные пучки» (М., «Энергия», 1972), И. В. Алямовского «Электронные пучки и электронные пушки» (М., «Сов. радио», 1966) и др. Рецензируемая монография отличается от указанных книг тем, что авторы стремились дать описание случаев, с которыми сталкиваются исследователи и разработчики в своей практической работе, исходя из возможно более общего теоретического подхода и стремясь довести выкладки до инженерных формул.

Авторы монографии Д. А. Надь и М. Силажи известные специалисты в области электроники. В частности, М. Силажи был удостоен в 1964 г. премии Этвешевского физического общества за работы в области физической электроники.

Книга содержит шесть глав, в которых последовательно и достаточно строго изложены вопросы, связанные с основными уравнениями, описывающими движение электронов с учетом пространственного заряда в отсутствие и при наличии магнитного поля,с созданием электронных пушек для генерации мощных электронных пучков, в случае которых существенно влияние объемного заряда, а также с использованием электростатических и магнитных полей для фокусировки интенсивных электронных пучков.

Авторы начинают изложение с уравнений Максвелла, описывающих стационарное электромагнитное поле. Это, по-видимому, имеет целью напомнить читателю основные положения классической теории электромагнетизма. Затем они переходят к описанию электромагнитных полей, обладающих различной конфигурацией и приводят разные методы расчетного и экспериментального определения распределения потенциала и траектории электронов.

Пожалуй, основным достоинством этой части монографии является ее полнота в сочетании с доступностью и четкостью изложения. Однако, учитывая обилие литераратуры по затронутым в этой главе вопросам, можно было бы ограничиться в ряде случаев просто ссылками на существующие монографии, в которых подробно изложены соответствующие разделы, что, например, с успехом могло бы быть сделано при изложении методов моделирования полей в электролитических ваннах (см., например, монографию М. П. Гнусина, Н. П. Поддубного и А. И. Маслия «Основы теории расчета и моделирование электрических полей в электролитах» (Новосибирск, «Наука», СО, 1972)).

В дальнейшем подробно рассматривается движение потока заряженных частиц в тех случаях, когда потенциалом, создаваемым этим потоком, нельзя пренебречь по сравнению с потенциалом, создаваемым системой электродов. Весьма удачно изложен авторами метод Метцлера, позволяющий определить параметры потока заряженных частиц, ограниченного пространственным зарядом. Далее подробно рассмотрены основные случаи переноса тока, когда ограничения, налагаемые наличием пространственного заряда, существенны: перенос тока в плоском диоде с бесконечно протяженными электродами, перенос тока в бесконечно протяженном цилиндрическом диоде и в диоде с шаровыми поверхностями. Однако авторы не ограничиваются подробным анализом этих сравнительно простых случаев и приходят к диоду с более сложной конфигурацией, работающему в условиях, когда существенно влияние объемного заряда, а именно к рассмотрению диода с непараллельными бесконечно протяженными плоскими электродами. С нашей точки зрения основное достоинство этой главы заключено в подробном анализе всех приближений и упрощений, связанных с выводом расчетных формул, а также в тщательном критическом рассмотрении большого числа оригинальных работ, в том числе и выполненных в последнее время, связанных с данной проблемой.

Глава, посвященная электронным пучкам, написана весьма полно и тщательно, однако наш читатель мог бы найти практически все основные результаты в монографиях С. И. Молоковского и А. Д. Сушкова, И. В. Алямовского, П. П. Цуккермана и Н. С. Зинченко.

На наш взгляд существенно больший интерес представляет изложение вопросов, связанных с рассеянием интенсивных электронных пучков электростатическими и магнитными системами их фокусировки. В настоящее время, когда интенсивные электронные пучки применяются в самых различных областях науки и техники — от коллективных ускорителей до попыток создания электрокинетических линий передач, вопросы, связанные с распределением потенциала по сечению пучка и с распределением радиальных скоростей, приобретают особое значение. Авторы рассмотрели наиболее существенные детали, связанные с различными процессами в электронных пучках

разнообразной конфигурации. К сожалению, это рассмотрение носит преимущественно теоретический характер. Практически отсутствует сколько-нибудь полное описание экспериментальных методов определения величин этих важных параметров электронных пучков. Почти не рассмотрены вопросы, связанные с коллективными эффектами и со взаимодействием пучка с плазмой остаточного газа.

Тем не менее, говоря о книге в целом, следует отметить, что это, несомненно, удачная попытка создания монографии, посвященной методам генерации и фокусировки интенсивных электронных пучков. Книга читается с интересом, и высокая оценка, данная ей в предисловии Д. Габором, вполне совпадает с нашим впечатлением. Приятно отметить также, что авторы, один из которых (М. Силажи) закончил аспирантуру Ленинградского политехнического института, великолепно знают работы советских ученых и широко используют полученные в них результаты. Книга эта представляет несомненный интерес для студентов старших курсов и аспирантов, специализирующихся в области физической и промышленной электроники, а также для ученых и инженеров, чьи интересы соприкасаются с этой бурно развивающейся областью современной физики.

В. И. Раховский