УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

виблиография

019.940;621.3.032.26

И. С. Зинченко. Курс лекций по электронной оптике, 2-е испр. и доц. изд., Харьков, Изд-во ХГУ, 1961, 362 стр., цена 85 коп.

В нашей научно-технической литературе накопилось к настоящему времени немало книг по электронной онтике. Однако почти все они посят характер не учебных пособий, а научных монографий, затрагивающих в основном узкий круг вопросов, паиболее интересующий их авторов. Кроме того, весьма обширный и интересный материал по этой бурно развивающейся сейчас ветви электроники содержится в оригинальных статьях и обзорах, разбросанных в различных периодических изданиях. За последние годы электронная оптика выделилась в самостоятельную дисциплину, изучаемую во многих вузах, готовящих специалистов по электрофизике, электронной микроскопии, ускорителям заряженных частиц, электровакуумным приборам, радиоэлектропике и пр.

По этой причине уже давно назрела необходимость в создании настоящего учебняка или по крайней мере учебного пособия по электронной оптике, охватывающего все ее основные разделы, напясанного на основе критической переработки имеющегося

материала, правильного отбора его и компоновки.

Можно было предполагать, что в учебном пособии Н. С. Зинченко «Курс лекций по электронной оптике», предназначенном для студентов физических и радиофизических специальностей, особенно в его втором исправленном и дополненном издании 1961 г., изложение электронной оптики как самостоятельного предмета будет достаточно полным и на высоком уровне, так что эта книга сможет восполнить имеющийся пробел. Однако в действительности пособие Н. С. Зинченко содержит изложение лишь сравнительно узкого круга вопросов этой дисциплины, относящихся к формированию и фокусировке пучков заряженных частиц с помощью электрических и магнитных полей, а также некоторым способам исследования указанных пучков.

Более того, уже при боглом чтении этой книги даже неискущениому читателю бросаются в глаза многочисленные дефекты методического характера, путанные и неправильные формулировки, неоговоренные приближения и, наконец, грубые ошноки, зачастую свидетельствующие о явном непонимании автором излагаемого

материала, включая собственные результаты.

Свой курс Н. С. Зинченко пачинает, определяя элсктронцую оптику (Введение, стр. 5, 1-й аблац сверху) как «раздел физики, рассматривающий задачи управления движением заряженных частиц при помощи электрического или магнитного поля с целью их формирования (фокусировки) в пучки». Таким образом, помимо продолжающегося и в дальнейшем (стр. 97 и 140) смешивания существенно различных понятий фокусировки и формирования (включающего в себя, в частности, и расфокусировку) пучков, автор произвольно ограничивает предмет электронной оптики лишь этими задачами, решая их исключительно с помощью электроннооптических линз, и полпостью исключает задачи об управлении паправлением движения пучков, т. е. об их отклонении. В книге Н. С. Зинченко совершенно не упоминаются, как будто их вообще не существует, электроннооптические призмы, а об электропнооптических зеркалах говорится лишь очень бегло. Между тем эти отклоняющие, отражающие и вместе с тем способные фокусировать и дефокусировать пучки заряженных частиц электроннооптические системы находят, так же как и электроннооптические линзы, самое пирокое применение в весьма различных электровакуумных приборах и исследовательских агрегатах ядерной физики, например, - многосеточные приемно-усилительные и индикаторные лампы, отражательные клистроны, некоторые лампы с бегущей волной, различные электропнолучевые трубки, многие ускорители, масс-спектрографические устройства и т. н. Общеизвестно, что все эти статические и квазистатические системы, отклоняющие, фокусирующие, дефокусирующие и отражающие пучки заряженных частиц, целиком и полностью относятся к «классической» электронной оптике. подобно тому как обычные зеркала и призмы, так же как и линзы, относятся к геометрической световой оптике.

Предположим, что был бы написан общий курс световой оптики, освещающий в большем или меньшем объемс материал по линзам, но совершенно не содержащий ничего ни о призмах, ни о зеркалах. Мог ли бы он быть рекомендован к псчати, мог ли бы он быть использован для обучения даже школьников, не говоря уже о студентах?

А ведь именно так написано учебное пособие Н. С. Зинченко. Подбор материала, произведенный им, в принципе приемлем при написании научной монографии, посвященной, например, особенностям электронных линз, но не курса лекций по электронной оптике в целом.

В самом деле, сможет ли будущий физик или инженер-радиоэлектропик грамотно работать с масс-спектрографической, осциплографической, радиолокационной или телевизионной аппаратурой, либо разрабатывать новые электронные приборы, если, прослушав курс электронной оптики и изучив электроннооптические линзы, он фактически не получил цонятия об электроннооптических призмах и зеркалах?

Разумеется, подготовка специалистов по вышеуказанным приборам должна включать изучение различных способов формпрования пучков заряженных частиц и способов оперирования ими, а следовательно, и электронные линзы, и зеркала, и призмы. Авторы как специальных монографий по электронной оптике, так и многочисленных учебников по электронике и электровакуумным приборам в главах, посвященных прикладной электронной оптике, более или менее подробно рассматривают все эти системы.

Давая в гл. IV определение различных типов электростатических линз, автор допустил ошибки и путаницу. Так, на стр. 67 в § 4.1 «Типы линз» он пишет: «Электрические линзы, в которых потенциал распределен симметрично относительно средней плоскости, называют одиночными или симметричными. Показатели преломления с обепх сторон одиночной линзы имеют одинаковые значения. На рис. 4.1 даны примеры выполнения электродов и распределения потенциала вдоль оси одиночных линз». Далее на стр. 68 автор утверждает: «Электрические линзы, у которых распределение потенциала по обе стороны от средней плоскости разное, называются иммерсионными». И далее на стр. 69 (1-й абаац сверху) читаем: «Иммерсионные линзы чаще состоят из двух или нескольких коаксиальных цилиндров, потенциалы которых различны. Потенциал последнего электрода может быть больше или меньше потенциала первого электрода».

Так что же различно? Распределение потенциала по обе стороны от средней илоскости или потенциалы первого и последнего электродов иммерсионной линзы!?

Таким образом, Н. С. Зинченко считает одиночные и симметричные линзы понятиями тождественными. В действительности одиночные линзы могут быть и асимметричными, например системы цилиндр — диафрагма — диафрагма или цилиндр — дилиндр — диафрагма, когда оба крайних электрода находятся при одинаковых потенциалах; в этом случае распределение потенциала по обе стороны от средней плоскости различно. Вместе с тем это и не иммерсионные линзы, так как скорость частиц на входе и выходе из них одинакова.

Может быть, эти асимметричные одиночные липзы не находят практического применения и потому о них не имеет смысла вообще упоминать?

Но стоит только взглянуть на электронные пушки осциллографических трубок наиболее распространенных типов, будь то устаревшая ЛО-709А или и ныне широко применяющиеся 13Л037, 5Л038 и др., как сразу же становятся видны их асимметричные одиночные фокусирующие линаы с находящимся под понижен и ны м потенциалом средним электродом, по старой традиции и азываем и первым анодом. Эти лиизы значительно удобнее в производстве, чем симметричные, и их использование открывает гораздо большие конструкционные и технологические возможности, чем только симметричных.

Перейдя к магнитным линзам, на стр. 86 (4-й абзац сверху) знакомимся со следующей формулировкой: «Короткие магнитные линзы представляют собой катушки, диаметр которых равен или даже больше их длины, а осевая протяженность магнитного поля меньше фокусного расстояния». В действительности короткой является магнитная линза, длина катушки которой превышает ее диаметр, но осевая протяженность магнитного поля значительно меньше фокусного расстояния.

Далее на стр. 89 (1-й абзац сверху) автор пишет: «Поле короткой катушки симметрично относительно оси и относительно среднего сечения катушки, перпендикулярного оси; индукция этого поля имеет как продольную, так и радиальную составляющие. Поэтому короткая магнитная линза подобна симметричной (одиночной) линзе. На рис. 5.4 представлено распределение составляющей В (Z), подобное распределению потенциала в одиночной линзе».

Путаница в определении одиночной и симметричной линз продолжается и здесь. В действительности распределение, подобное изображенному на рис. 5.4, соответствует случаю симметричной одиночной линзы, образованной любой катушкой, создающей распределение поля, симметричное относительно средней плоскости. Если магнитное поле несимметрично относительно ее, что имеет место у некоторых панцирных

линз электронных микроскопов и катушек, несимметричных отпосительно средней плоскости, то такая линза является одиночной асимметричной. Подобные асимметричные одиночные магнитные линзы широко применяются также для фокусировки элек-

тронного луча в ЛБВ и карсипотронах 0-типа.

Нельзя обойти молчанием следующую грубую ошибку, допущенную автором на той же странице. Описывая поле короткой магнитной линзи, изображенное на рис. 5.3, автор пишет: «Напряженность поля в средпей плоскости больше, чем на краях линзы». Однако в средней плоскости этой симметричной линзы на ее оси можно видеть на рис. 5.3 так называемую «седлообразную точку» (точку пересечения на оси двух эквипотенциальных липий), где напряженность магнитного поля равна нулю. К нулю стремится также напряженность поля и на краях линзы. Автор, по-видимому, не разобрал, что на заимствованном им из литературы рис. 5.3 показана седлообразная точка (впрочем, рис. 5.3 и 5.4 соответствуют разным линзам, что не отмечено ав-

На стр. 60 (1-й абзац сверху), описывая построение электронных траекторий методом плоского конденсатора, автор утверждает, что этот метод применяется в тех случаях, когда эквипотенциальные линии искривлены пезначительно и в окрестности пересечения траскторий их можно считать параллельными прямыми. При этом автор ни единым словом не упоминает о пределах применимости этого метода по углу α

между траекторией электрона и силовой линией.

В действительности даже в идеальном плоском конденсаторе этот метод пригоден только тогда, когда угол α невелик, т. е. когда $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$. В противном случае кривизна траектории может стать значительной и аппроксимация траектории прямолинейными

отрезнами недопустима, а формула (3.12) может привести к большим ошибкам. Основным отличием курса Н. С. Зинченко является учет действия пространственного заряда на движение электронов в иучках. Однако изложение этого более нового материала в гл. VI — IX могло быть проведено без многочисленных ошибок и путаницы, тем болсе, что «черновая работа» по его подбору в переводу была фактически проделана М. Д. Габовичем, опубликовавшим еще в 1955 г. в УФН (т. 56, вып. 2) обзорную статью «Влияние объемного заряда при распространении питенсивных пуч-

ков заряженных частиц». Рассматривая в гл. VI расширение трубчатого пучка, автор совершение пе вводит в уравнение радиус внутреннего электрода и его потенциал и не рассматривает изменения внутреннего диаметра пучка, что не менее важно на практике, чем расширение наружного диаметра в сторону внешнего электрода. Между тем отношение радиусов электродов и потенциал впутреннего электрода безусловно сказываются на траск-

ториях электронов и характере расширения трубчатого пучка.

Рассматривая расширение пучка прямоугольного сечения как депточного пучка бескопечной ширины, автор не указывает, начиная с какого именно отношения его ширины к толщине (большое, а какое??) это является справедливым. А это практически очень важный вопрос для разработчиков электроиндлучевых приборов с ленточпыми пучками, разумеется, имеющими консчную ширину.

Название § 7.5 «Распределение потенциала в сечении трубчатого пучка» не соответствует его содержанию, так как в нем потенциал в сечении указанного пучка принимается постоянным и выводится выражение для максимального тока такого пучка

в зависимости от потенциалов внутреннего и внешнего электродов.

Не лучше обстоит дело и с гл. VIII, специально посвященной вопросу фокуспровки интенсивных пучков электростатическими полями. В § 8.2 на стр. 143 читаем: «Если плотность тока пучка постояниа и тепловые скорости электронов равны нулю, то задача является электростатической и потенцпал внутри пучка выражается уравнением Пуассона». Фраза построена так, что из нее строго логически следует совершенно неправильное положение: «Если плотность тока пучка НЕ постояниа и тепловые скорости электронов НЕ равны нулю, то задача является НЕ электростатической и потенцпал внутри пучка НЕ выражается уравнением Пуассона». Даже намек на то, что пеностоянство илотпости тока и отличие от нуля тепловых скоростей электронов делают задачу не электростатической и не описываемой уравнением Пуассона, является грубейшей ошибкой, недопустимой тем более в учебном пособии.

В § 8.3, в котором автор рассматривает фокусировку трубчатого пучка, на стр. 152 кпиги читаем: «Последнее равенство означает, что если электрон сместится с равновесной трасктории к центру, то центробежная сила станет больше центростремительной электрической силы». Это находится в полном противоречии с классической механикой, согласно которой при движении материальной точки по криволинейной траектории центробежная и центростремительная силы всегда равиы и противоположно направлены. Прилагательное «электрической» здесь не спасает положения, так как при описываемой здесь центробежной фокусировке на электрон действуют только электростатические силы. Впрочем, текст на стр. 152 ясно показывает, что автору так и не ясно, что при центробежной фокусировке электроны движутся по устойчивым петлеобразным траскториям, частным случаем которых является

окружность.

Существенным недостатком «Курса лекций» следует считать отсутствие четкого определения параметров электронных пучков, что приводит к смешиванию и отождествлению различных понятий.

На стр. 97 при определении интенсивных пучков автор свадивает в одну кучу и большую плотность тока, и большой пространственный заряд, и большую плотность последнего, преподнося тем самым эти понятия как эквивалентные, что методически неправильно, тем более, что эффекты кулоновского расталкивания, падения потенциала в пучке вследствие собственного пространственного заряда электронов и вызвапного этим ограничения тока пучка, могут в принципе заметным образом проявляться при любых значениях тока пучка, Так, из практического примера формирования пучка, приведенного автором на рис. 8.20, легко убедиться, что плотность пространственного заряда в прикатодной области более чем на порядок превыщает таковую в удаленных от катода зопах пучка, в то время как средняя плотность тока в функции расстояния от катода меняется незначительно.

Введение параметра пространственного заряда на стр. 98 как отношения тока пучка к ускоряющему напряжению в степени $^{3}/_{2}$ не только не устраняет разнобоя в определениях, но, сверх того, приводит к сравнению и смешиванию еще более различающихся понятий. Так, на стр. 164 (1-й абзац снизу) автор пишет: «Эти методы применимы к пучкам с малым параметром пространственного заряда ($k < 10^{-8}as^{-3/2}$). Для пучков с больщей плотностью тока они неприменимы».

Таким образом, автор сравнивает здесь две различные величины, имеющие неоди-

наковые размерности. Комментарии, как говорится, излишни.

Отметим попутно, что в книге в целом совершенно искажена историческая перспектива и истинное положение дел в развитии и становлении весьма популярного и распространенного в настоящее время метода последовательных приближений для расчета пространственного заряда и электронных траекторий в электронных приборах. Автор почему-то говорит об этом методе только в связи с не нашедшим пирокого применения моделированием поля и траекторий на резиновой мембране (см. стр. 58 рецензируемой книги и работы Кельмана и Краснова 1955 г.). В обширной литературе по расчету электронных приборов и по моделированию полей электронных приборов методом электролитической ванны и R-сетки этот метод последовательных приближений обсуждается и развивается с 1933 г.

Особо следует остановиться на § 13.3 «Метод вибрирующего зонда», в котором, судя по ссылкам автора (XIII.13) и (XIII.15), он описывает о п у б л и к о в а н н ы й им совместно с И. К. Овчинниковым метод экспериментального исследования аксиально-симметричных пучков заряженных частиц. Следовательно, именно здесь можно было бы ожидать наиболее четкого и ясного изложения вопроса. На стр. 300—311 изложен метод измерения радиального распределения потещиала в пучке с помощью использования влияния вторичной электронной эмиссии с зонда на зондовую характеристику и приведена принципиальная схема экспериментальной установки с осциллографическим индикатором. Как будто все правильно. Однако внезапно (стр. 306, 1-й абзац сверху) читатель сталкивается со следующим странным утверждением автора: «Следует отметить, что радиальное распределение потенциала в пучке определяется с точностью до разброса скоростей вторичных электронов».

Этот ничем не обосновываемый автором вывод полностью зачеркивает весь метод вибрирующего зонда, ибо, как известно даже из курса общей физики, разброс скоростей вторичных электронов в любом случае охватывает интервал от нуля до скоростей первичных электронов, соответствующих ускоряющему пучок потенциалу. В таком случае ошибка измерения равна измеряемой величине.

Если это действительно так, то зачем излагать да еще в учебном пособии этот,

хоть и свой, но принципиально неверный метод?!

Если нет, то это недоразумение, не объяснимое никакими опиобками или опечатками по вине редакции, не только вводит в заблуждение читателя, но и со всей очевидностью свидетельствует о полном непонимании автором сути дела. Следует отметить, что в посвященных этому вопросу упомянутых выше печатных работах автора, опубликованных совместно с И. К. Овчинниковым, вышеприведенный парадоксальный вывод отсутствует.

Перечень неправильных положений, ошибок и методических недостатков книги можно было бы еще значительно продолжить, однако уже приведенные факты являются достаточными, чтобы сделать по книге Н. С. Зинченко «Курс лекций по электронной оптике» следующие выводы.

Книга в действительности является не учебным пособием, а методически неправильно составленной компиляцией ряда работ советских и иностранных авторов *),

^{*)} Впрочем, отсутствие иностранных журналов на нашей периферии и наличие в книге Н. С. Зинченко плохих переводов ряда иностранных статей и обусловило некоторый ес успех у читателей.

содержащей большое количество ошибок, как заимствованных из вышеуказанных работ, так и привнесенных самим автором.

По этим причинам «Курс лекций по электронной оптике» Н. С. Зинченко пе может быть использован для правильного изучения основных разделов электропной

оптики на современном уровне.

Можно было бы не поднимать вопроса об этой кпиге спустя столько времени после ее выхода в свет, если бы автор не стремился выпустить ее третье издание, содержащее те же изъяны, что и предыдущие, рукониси которых, как нам известно, подвергались критике, к сожалению, оставленной без внимания.

вергались критике, к сожалению, оставлениюй без впимания.

Новое переиздание этого пособия, содержащего такие изъяны, ис может иметь никакого оправдания. Хотелось бы, чтобы паша рецензия помогла предотвратить в дальнейшем выпуск учебных пособий подобного рода как по электронной оптике, так и по другим повым и старым дисциплинам.

 $B.\ C.\ Лукошков,\ M.\ К.\ Овчинников,\ C.\ A.\ Тиктин,\ K.\ Б.\ Толпыго$