



ÚSTAV FYZIKÁLNYCH VIED

ÚFV PF UPJŠ, Park Angelinum 9, 041 54 Košice
tel.: +421 (055) 234 6101, fax: +421 (055) 622 21 24, IČO: 00397768
e-mail: ufv@upjs.sk, <http://www.science.upjs.sk>

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Гнатича Михала на диссертацию **Альзаяди Лаис Х. Малек** на тему: «Программно-математическое обеспечение автоматизированного управления микро-и нанозондовыми системами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Изучение поведения пучков электрически заряженных частиц в электромагнитных полях и управление их энергией и траекторией в разных устройствах и приборах, используемых в научных исследованиях и на практике, представляет собой сложнейшую математическую, физическую и техническую задачу. Хотя динамика заряженной частицы в электромагнитном поле описывается относительно простыми уравнениями классической электродинамики, удержание пучка частиц на заданной траектории, сохранение его стабильности и требуемых характеристик является весьма нетривиальным.

На практике создаются сгустки частиц, которые как стрелы игловидной формы с минимальным поперечным сечением должны после прохождения по определенной траектории и приобретения требуемой энергии прийти к назначенной цели. Как известно, энергию они приобретают за счет ускорения электрическим полем, а форма траектории, их стабильность и фокусировка обеспечивается магнитным полем подходящей геометрии (диполи, квадруполи и выше) и интенсивности.

В настоящее время как в науке, например, при создании современных коллайдеров, так и на практике, например, в биологии и медицине, требуются интенсивные (большой светимости) пучки, которые проходят по четко определенной траектории с минимальной потерей частиц в них. Это требует сильные магнитные поля (сверхпроводящие магниты), которые удержат пучки на устойчивых траекториях. Такие сложные физические машины, в свою очередь, требуют автоматизированное управление, которое немислимо без современного программного обеспечения и использования мощной вычислительной техники.

Диссертационная работа посвящена задачам, направленным на усовершенствование автоматизированного управления пучками частиц в магнитооптических системах и ввиду выше сказанного является **актуальной**.

Ее **новизна** состоит в единообразном подходе к усовершенствованию автоматизированного решения основных этапов динамики пучков в таких системах.

Основным объектом исследования является магнитное поле, управляющее эволюцией пучка. В изучаемых физических системах оно может быть выражено через градиент скалярного потенциала, входящего в уравнения эволюции (в общем случае нелинейные). Решение данных уравнений, т.е. нахождение самосогласованности траектории пучка и геометрических характеристик поля является одной из основных целей работы. Уравнения решаются посредством использования матричного формализма в системе криволинейных координат, прикрепленной к опорной траектории пучка. Потенциал является функцией трех координат. В матричном подходе он разлагается в ряд Тейлора по двум поперечным переменным с коэффициентами, зависящими от третьей криволинейной координаты с учетом симметрии задачи, которые могут быть измерены или вычислены при решении уравнений. В зависимости от конкретных требований на точность, учитывается необходимое число членов. Таким образом, система нелинейных дифференциальных уравнений движения частицы пучка может быть записана в матричном виде вплоть до необходимого порядка нелинейности. Для их решения в работе интенсивно использовались как различные численные методы так и программы символьных вычислений Mathematica и Maple.

Представленная к защите диссертационная работа состоит из Введения, четырех Глав, Заключения и пяти Приложений.

В **первой главе** определена магнитооптическая система, ее основные структурные элементы и представлен метод (матричный формализм, опорная траектория, криволинейные координаты, разложение в ряд Тейлора и др.) для описания магнитных полей в рассматриваемых управляющих элементах.

Во **второй главе** рассмотрены основные математические определения для матричного формализма, позволяющие строить математические модели и соответствующие решения для нелинейных систем до необходимого порядка нелинейности. Выведены условия сходимости используемых методов.

В **третьей главе** подробно описаны используемые уравнения движения частиц в магнитооптических системах (МОС) как в обычной, так и в матричной форме записи в произвольной криволинейной системе координат. Введено понятие «модернизированного» кронекеровского произведения при моделировании МОС, позволяющее переписать систему нелинейных дифференциальных уравнений эволюции частиц пучка в матричном виде с матрицами движения представленными в универсальных обозначениях для различных структурных элементов.

В **четвертой главе** рассмотрены основные положения объектно-ориентированного программирования на примере UML, которое широко используется в моделировании различных систем, а также рассмотрены перспективы использования искусственных нейронных сетей в физике пучков частиц.

В **заключении** сформулированы основные результаты проделанной работы.

В четырех приложениях содержатся описания «модернизированного» кронекеровского произведения при моделировании МОС и магнитостатического поля, генерируемого в дипольных, квадрупольных, секступольных, октупольных и соленоидальных структурных элементах. Приведены необходимые представления полей как в криволинейной, так и декартовой системах координат вплоть до 8-го порядка нелинейности, а также приведены уравнения движения в вышеуказанных структурных элементах до 8-го порядка разложения в традиционной (обычной) и в матричной форме.

Список литературы, состоящий из 71 наименований, отражает основные направления проводимых в настоящее время исследований в области рассматриваемой в диссертации.

По содержанию диссертации можно сделать следующие **замечания**.

1. В работе подчеркивается важность символьных вычислений. Создал ли автор коды в Mathematica или в Maple, например, для вычисления характеристик структурных элементов с наперед заданной точностью по нелинейностям для общего пользования? Приведенные в приложениях выражения весьма громоздки и длинные (занимающие даже несколько страниц).
2. Что является критерием выбора учета конкретного числа членов ряда Тейлора, т.е. точности вычисления конфигурации магнитного поля? Можно привести конкретные примеры? Как такой выбор зависит от интенсивности магнитного поля?
3. Можно ли результаты работы использовать при совершенствовании автоматического управления пучком заряженных частиц на строящемся коллайдере NICA в ОИЯИ Дубна?
4. В конце параграфа 1.1.6 на стр. 29 приведено выражение для компонент магнитного поля квадрупольного магнитного элемента до 5-го порядка, как частный случай общего выражения данного формулой (1.2). Однако оно неверно, поскольку там по отдельности приведена соответствующая матрица **B** размерности 3×6 и вектор координат.

Данные замечания, однако, не снижают научной и практической ценности диссертации. Результаты диссертанта изложены в достаточном числе публикаций, и прошли апробацию на российских и международных конференциях.

На основе результатов, изложенных в диссертации, и публикаций автора считаю, что диссертация Альзаяди Лаис Х. Малек на тему: «Программно-математическое обеспечение автоматизированного управления микро-и нанозондовыми системами» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Альзаяди Лаис Х. Малек заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2.

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.
Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета
Доктор физ.-мат. наук, профессор,
Профессор Факультета естествознания
Университета П.Й. Шафарика
в Кошице, Словакия



Гнатич Михал

6.01.2022